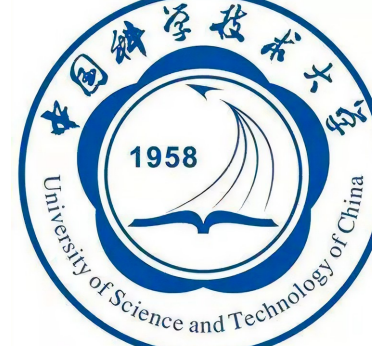


CMS 中国组2025年研究进展

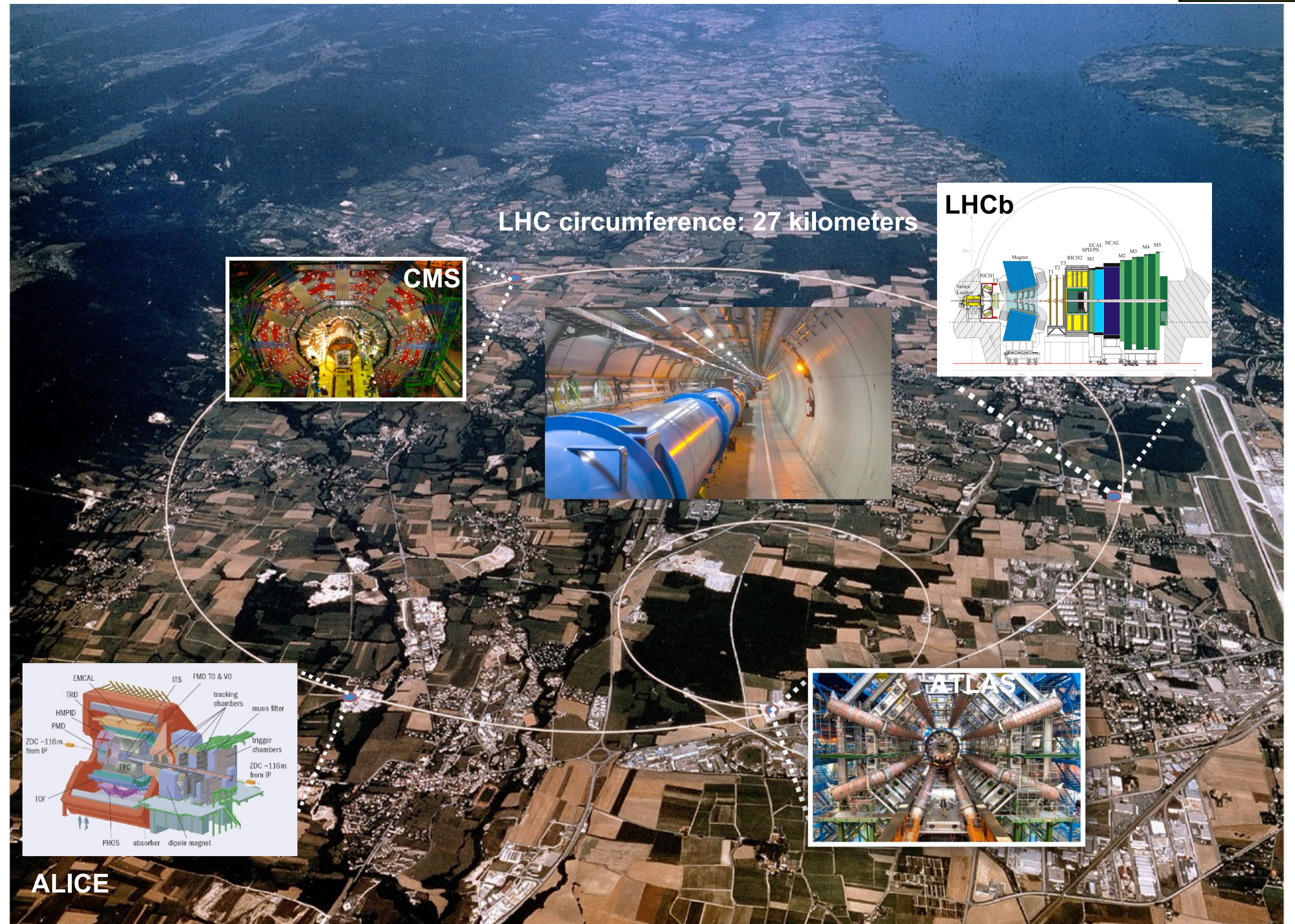
鲁楠（中国科学技术大学）代表中国CMS组

第十一届中国LHC物理会议
2025年10月29日-11月3日，河南省新乡市



CMS探测器是LHC上的一个通用型探测器，有较广泛的物理目标：

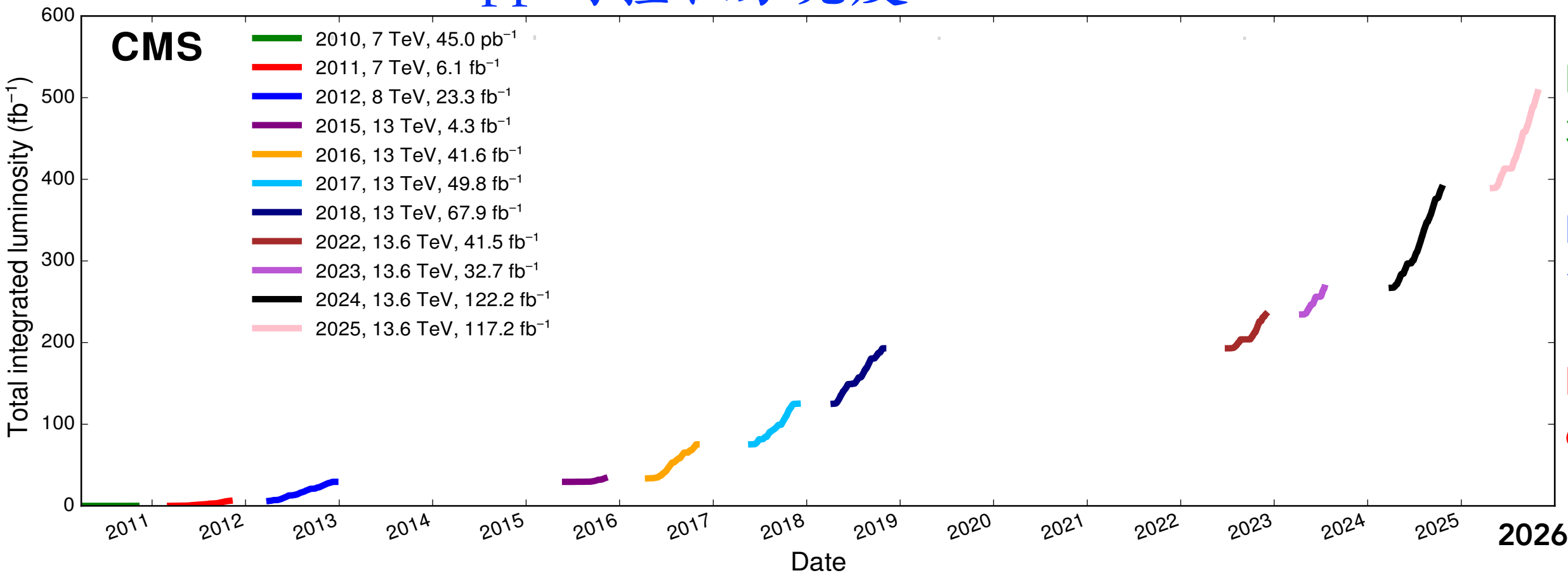
- 标准模型精确检验
- 希格斯玻色子性质测量与稀有过程寻找
- 超出标准模型新物理寻找
- B物理
- 相对论重离子碰撞物理



CMS Run 3 取数



LHC pp 对撞积分亮度



Run 3
314 fb⁻¹ (13.6 TeV)

Run 2
165 fb⁻¹ (13 TeV)

Run 1
6 fb⁻¹ (7 TeV) + 23 fb⁻¹ (8 TeV)

Run 1

LS1

Run 2

LS2

Run 3

<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/LumiPublicResults>

CMS 2024年取数

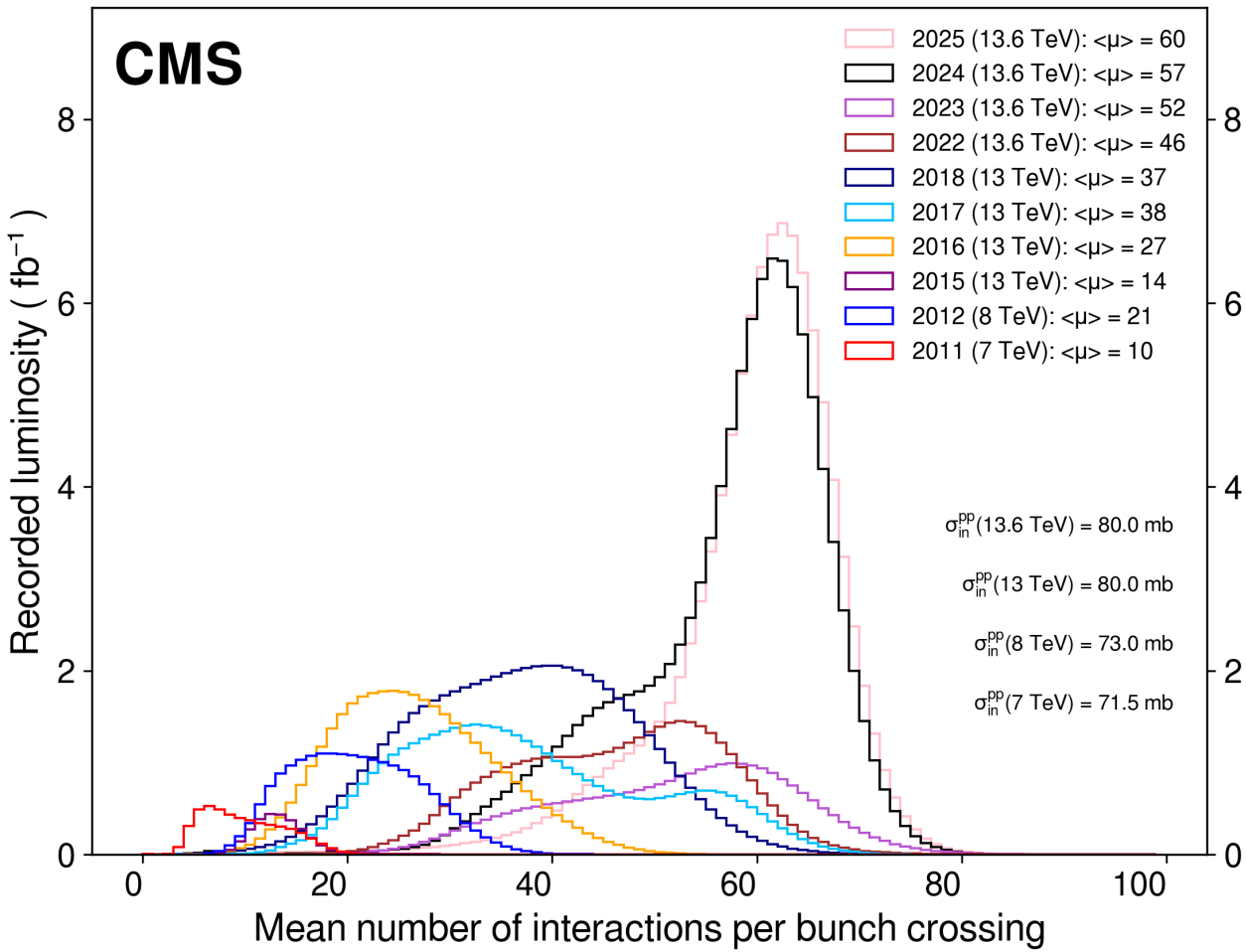
- 25-ns pp
123 fb⁻¹
- pp reference
520 pb⁻¹
- PbPb
1.9 nb⁻¹

CMS 2025年取数

- 25-ns pp
已经取127 fb⁻¹
- 计划取数PbPb

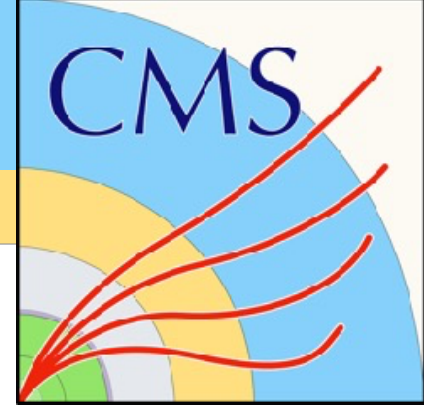
CMS in 2026年计划

- 3月16日开始8周25-ns pp
30 - 40 fb⁻¹
- 18天重离子碰撞 (PbPb或pPb)

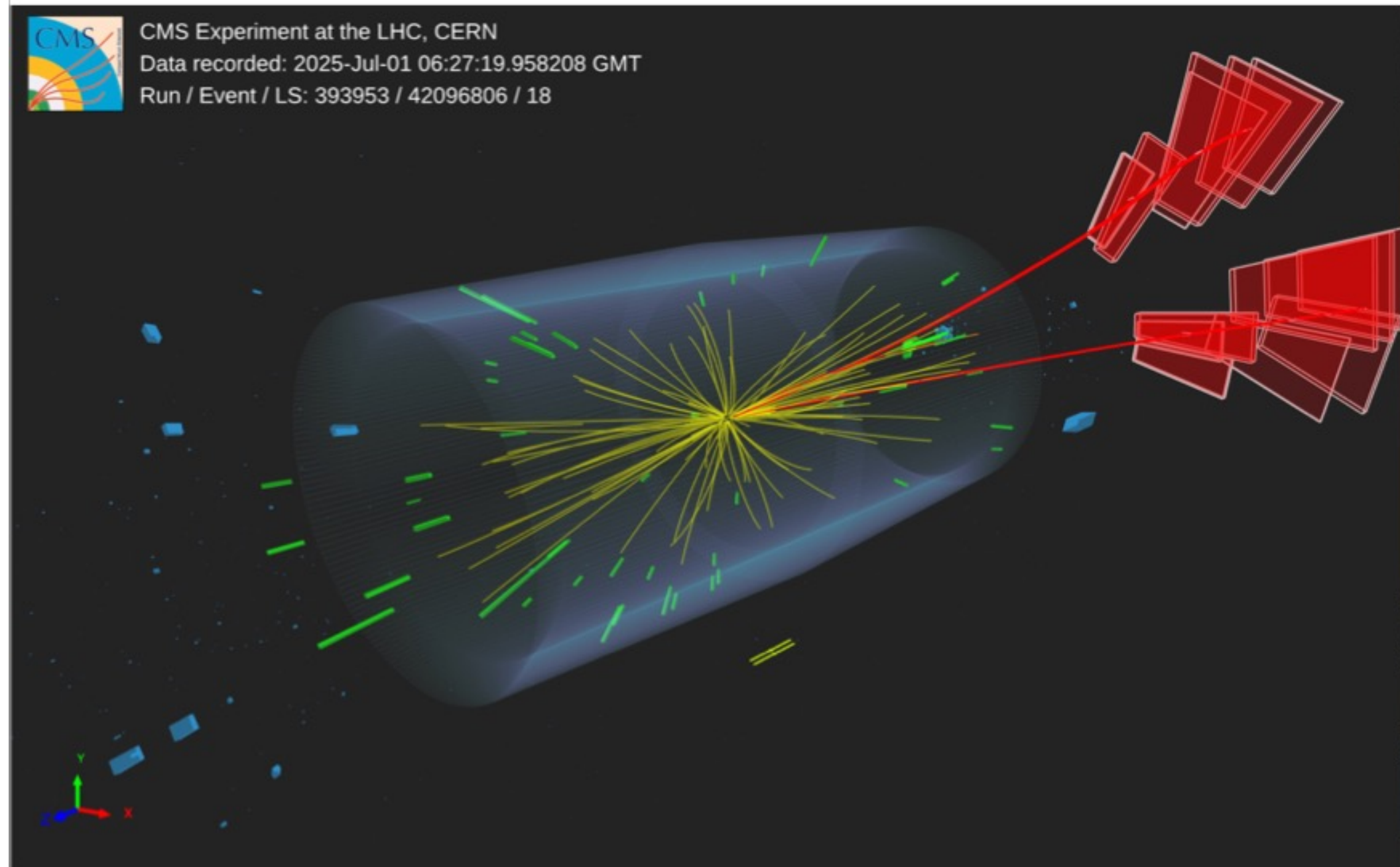


CMS 三期取数：LHC上首次质子-氧核和氧氧对撞

CMS



2025年7月:质子-氧核和氧核-氧核对撞，将对宇宙线物理和高能重离子物理研究提供重要信





CMS国际合作组来自58个国家地区，
246个单位

6 100 CMS active members

- 2 100 教职工科学家
- 1 200 博士研究生
- 1 500 非博士研究生学生
- 1 000 工程师300技术人员

2 300 CMS 作者

- 1 600 教职工、博士后研究员
- 700 博士研究生

CMS中国组包括11所单位，200余人

单位	教职工	作者数	总人数
中国科学院高能物理研究所	19	16	44
北京大学	7	18	49
北京航空航天大学	3	4	13
清华大学	1	5	20
中山大学	1	1	27
浙江大学	1	3	16
南京师范大学	5	6	33
复旦大学	2	2	11
中国科学技术大学	2	1	20
山东大学	3	0	7
华南师范大学	2	1	9
总计	46	57	249

CMS中国组人员列表



CMS中国组协调人换届

协调人：冒亚军
副协调人：张华桥

➡

陈明水
周辰 袁丽

单位	教职工	作者数	总人数	教职工 (排名不分先后, 红色为近一年新进教职工)
高能所	19	16	44	陈明水、陈国明、张华桥、廖红波、陶军全、王锦、陈晔、王峰、 韩硕、董晓黎、刘振安、赵京周、龚文煊、董胜、刘勇、袁煦昊、 王聪聪、谢万、张玄同
北大	7	18	49	钱思进、冒亚军、班勇、李强、王大勇、孙小虎、周辰
北航	3	4	13	袁丽、成瞳光、王龙
清华	1	5	20	胡震
中山	1	1	27	尤郑昀
浙大	1	3	16	肖朦
南师	5	6	33	易凯、张敬庆、王徽、Gerry Bauer (Guest)、李柏林 (Guest)
复旦	2	2	11	沈成平、王子瑞
中科大	2	1	20	鲁楠、查王妹
山大	3	0	7	陈震宇、张金龙、聂茂武
华南师大	2	1	9	杨帅、叶早晨
总计	46	57	249	

标准模型精确检验



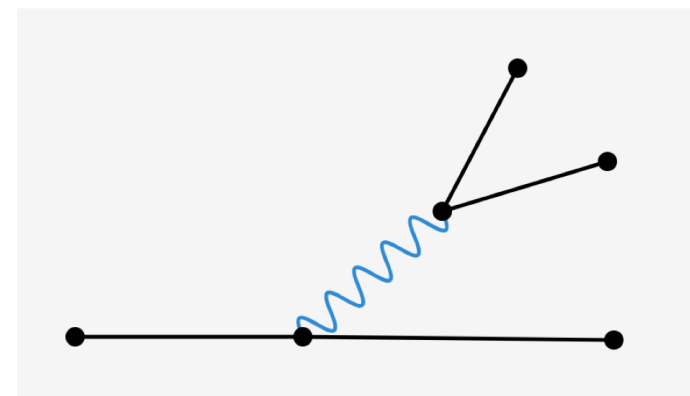
喷注内的胶子自旋效应



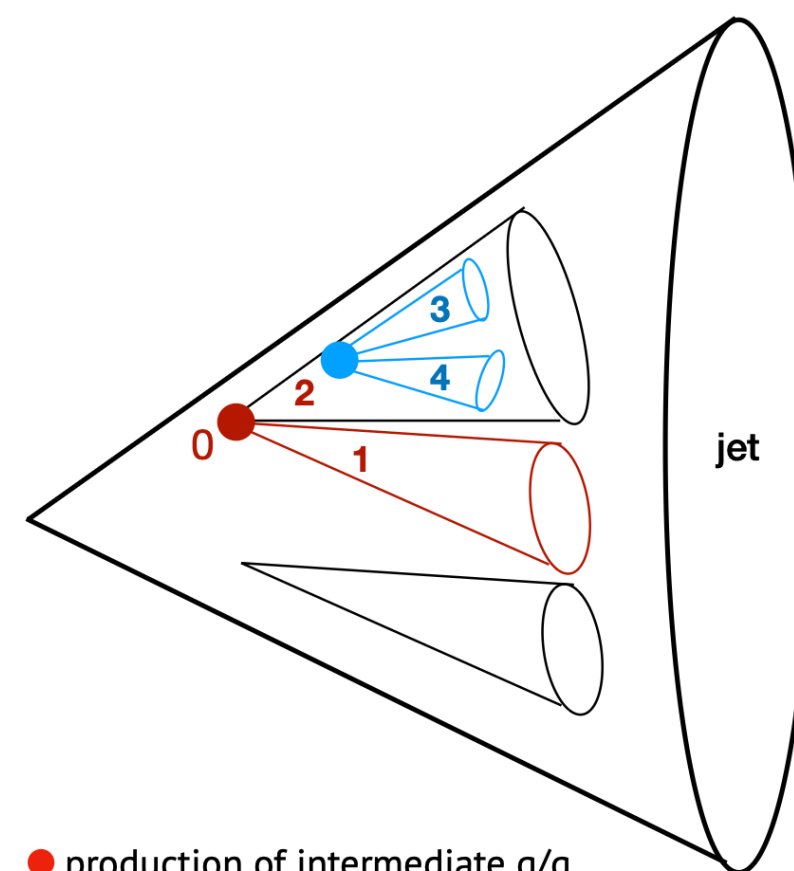
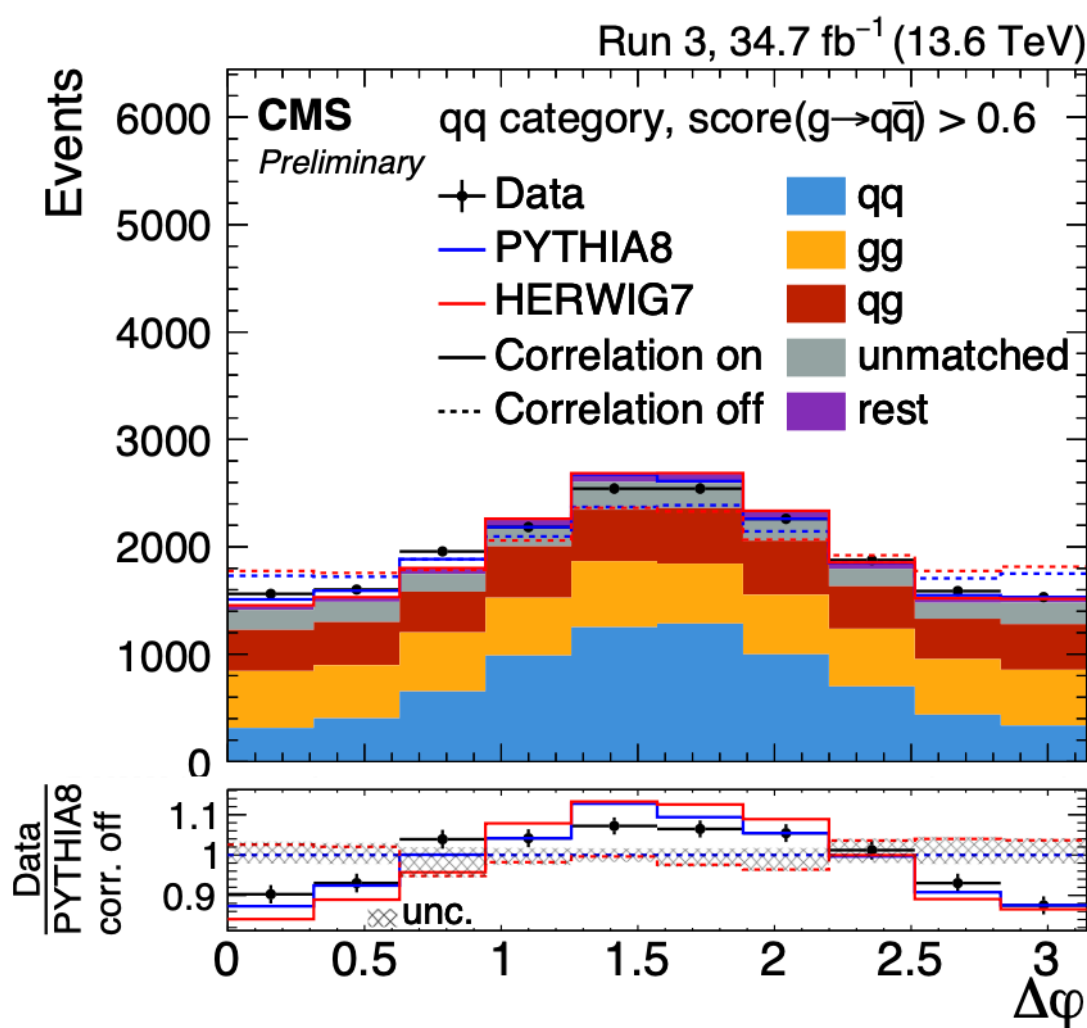
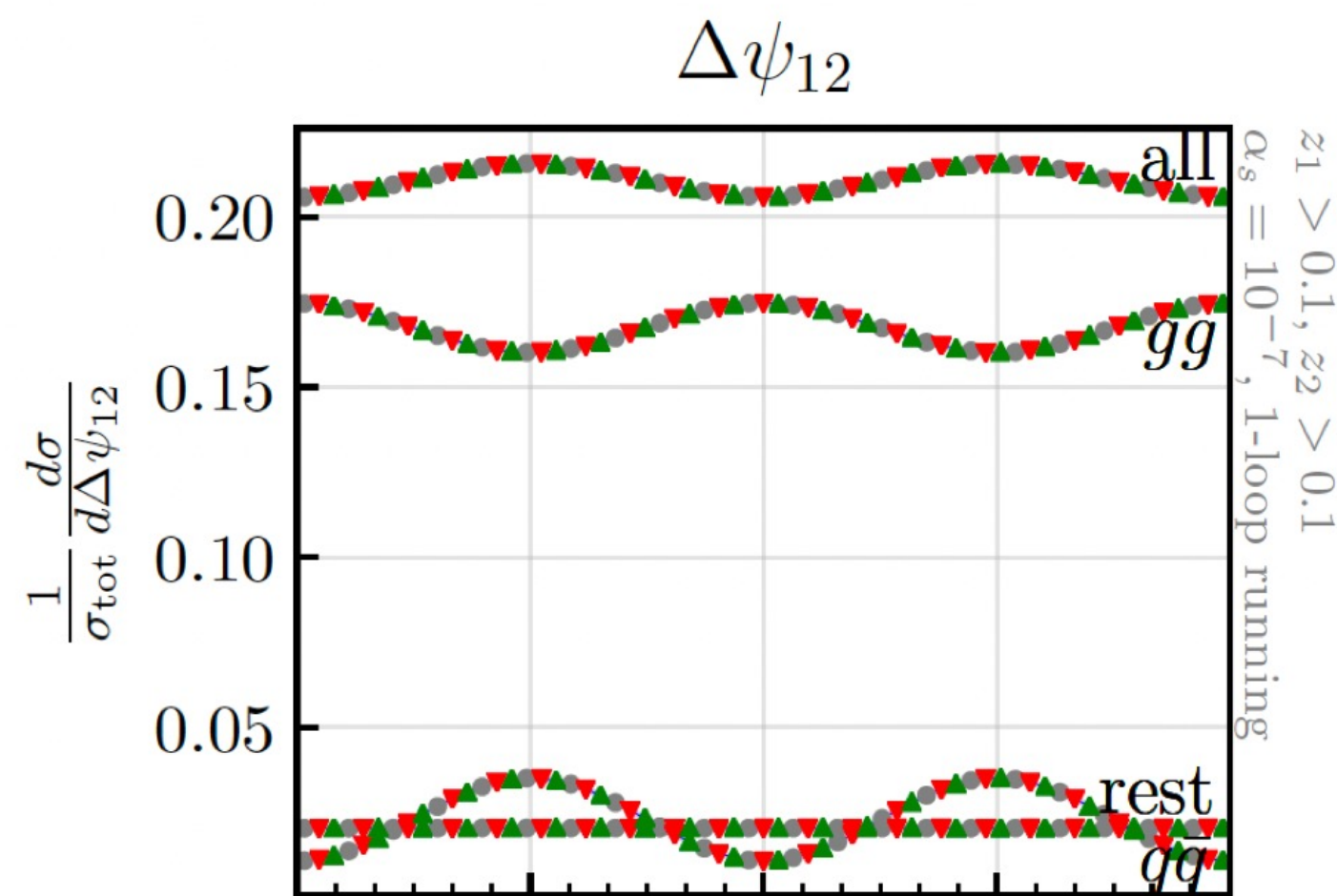
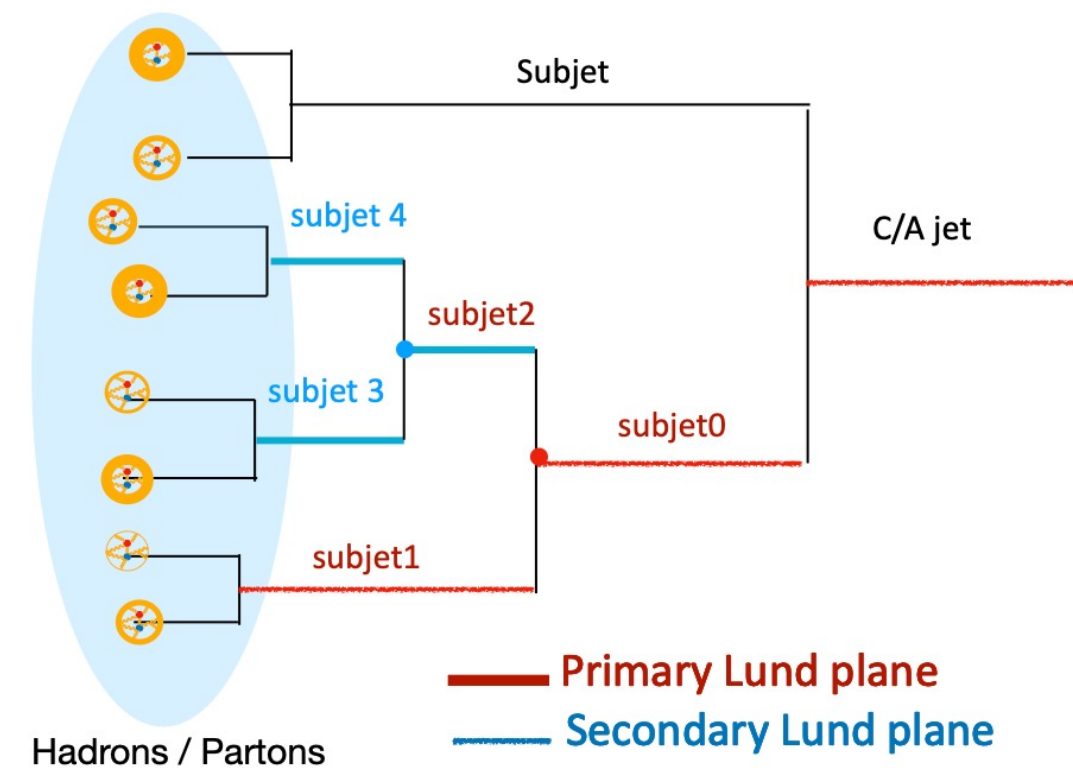
- 首个部分子簇射过程中胶子自旋效应的测量
- 大部分现有模型LL精度，自旋关联是达到NLL精度必须考虑的效应
- 首次实验观测到由于胶子自旋导致的量子干涉效应
- 该效应可用于搜寻 $H \rightarrow gg \rightarrow qqqq$
- 浙大独立分析，[详见浙大朱名杨报告](#)

CMS-PAS-SMP-25-006

浙大



$$|M_+ + M_-|^2 = |M_+|^2 + |M_-|^2 + 2|M_+||M_-|\cos 2\phi$$



- production of intermediate q/g
- decay of intermediate q/g

Parton level存在, 但 $g \rightarrow q\bar{q}$ 与 $g \rightarrow gg$ 效应相反，效应相消

双光子产生W玻色子对 $\gamma\gamma \rightarrow WW$

北大

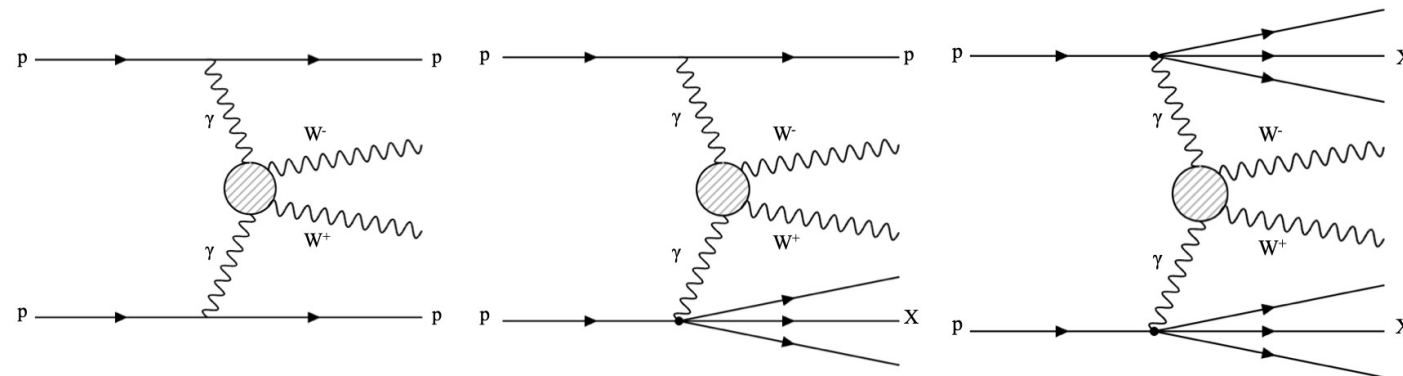


- 前期工作：首次通过质子质子对撞双光子产生过程，对陶轻子反常磁矩最佳测量，误差减小5倍： $g_\tau = 2.0018 + 0.0064 - 0.0062$ (0.3%)，发表于Rep.Prog.Phys.87(2024)107801, 受《CERN通讯》《科技日报》等报道

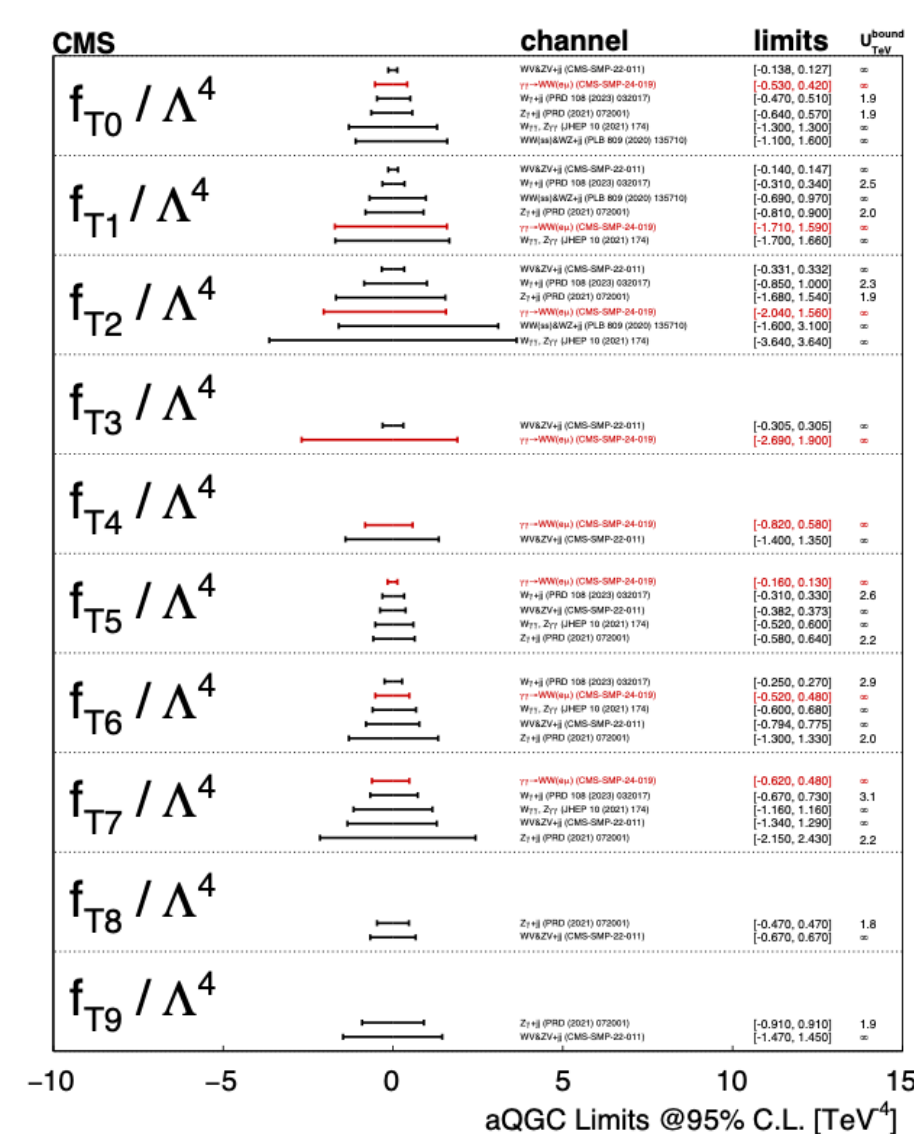
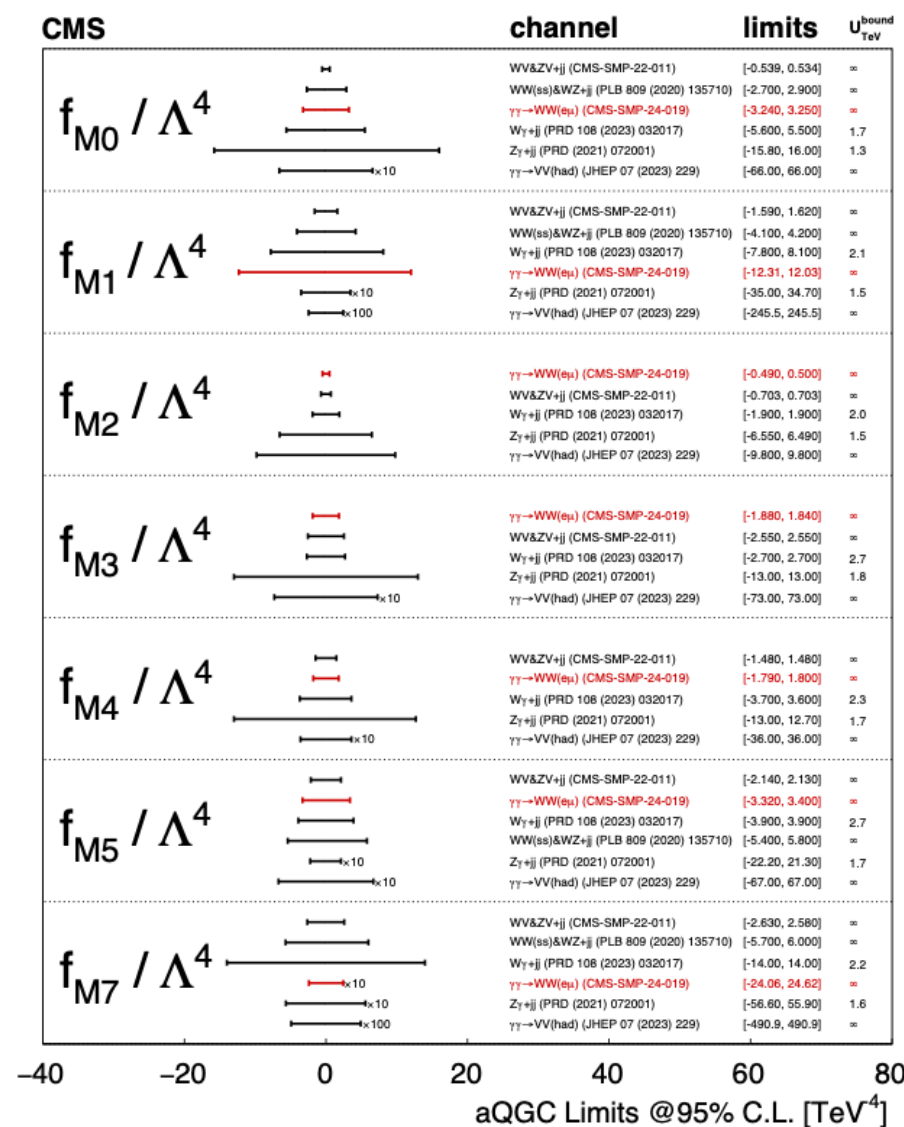
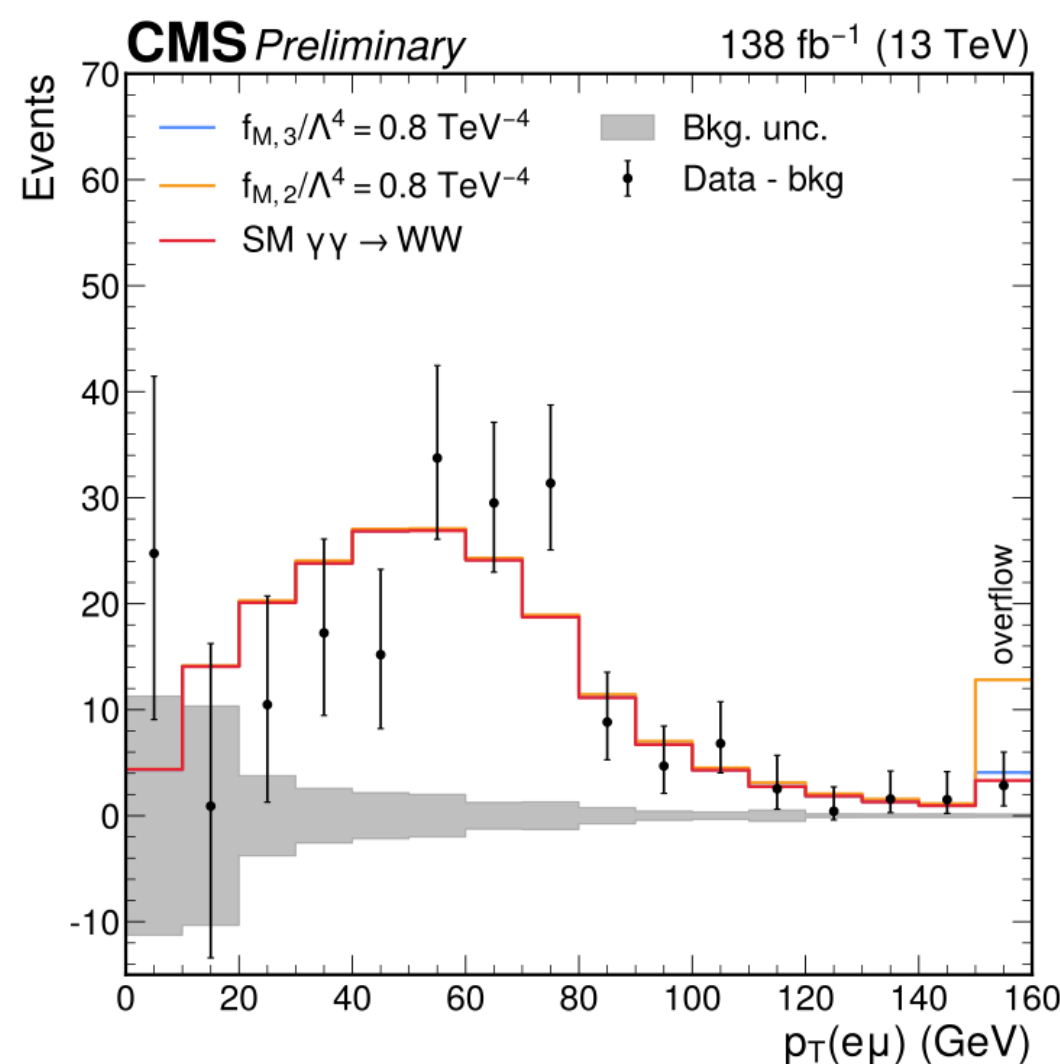
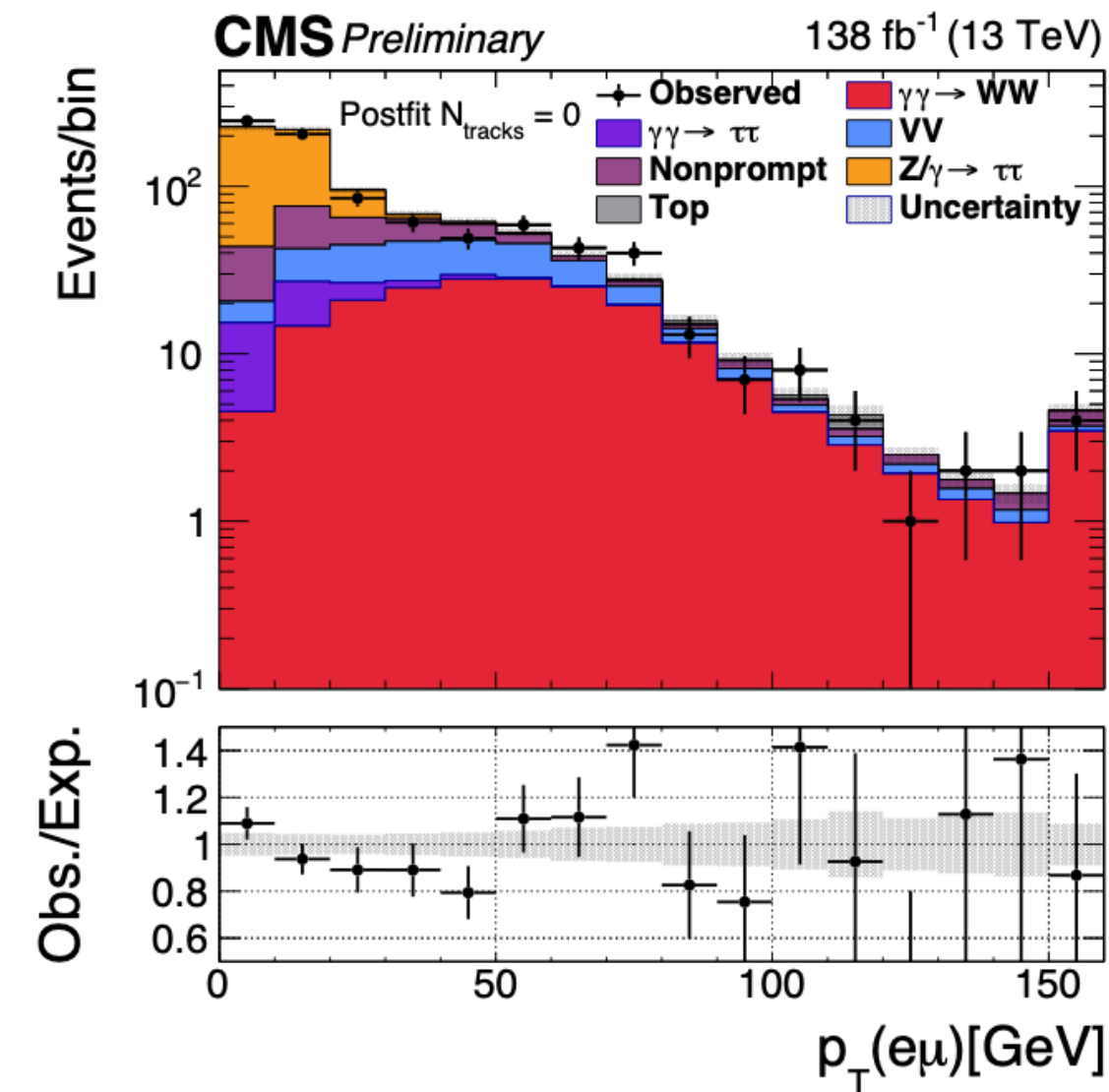
- 在CMS首次观测到质子质子对撞 $\gamma\gamma \rightarrow WW$ 过程，对反常四规范玻色子耦合 (aQGC) 给出限制

- 详见北大何宗晟海报

测量 $\gamma\gamma \rightarrow WW$ 截面： 643^{+82}_{-78} fb

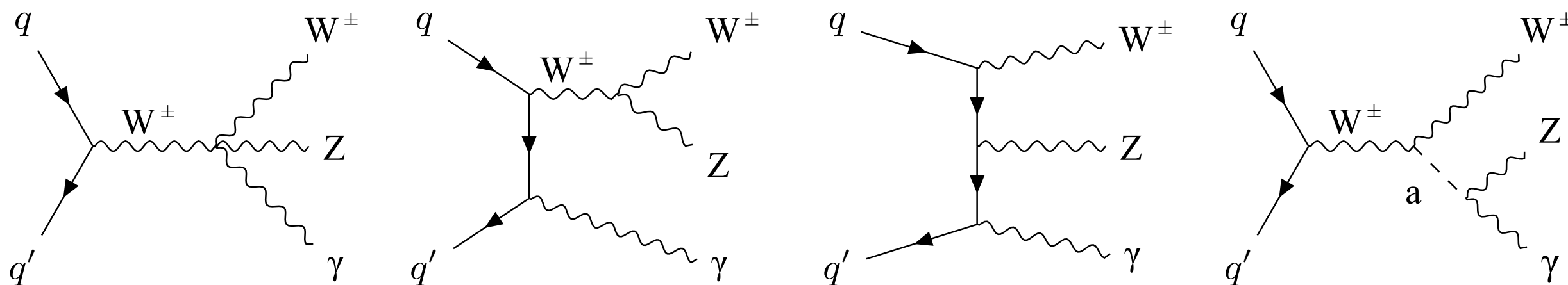


CMS-PAS-SMP-24-019



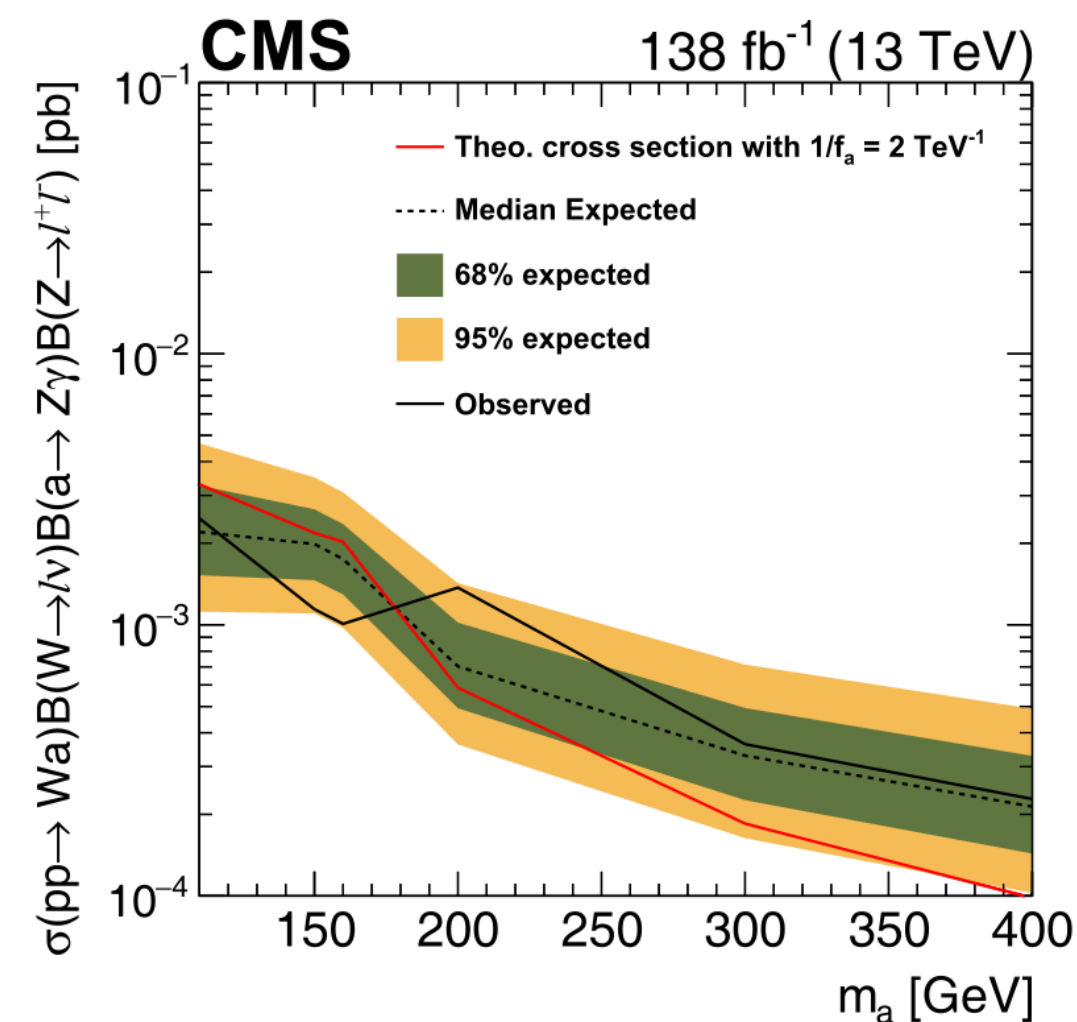
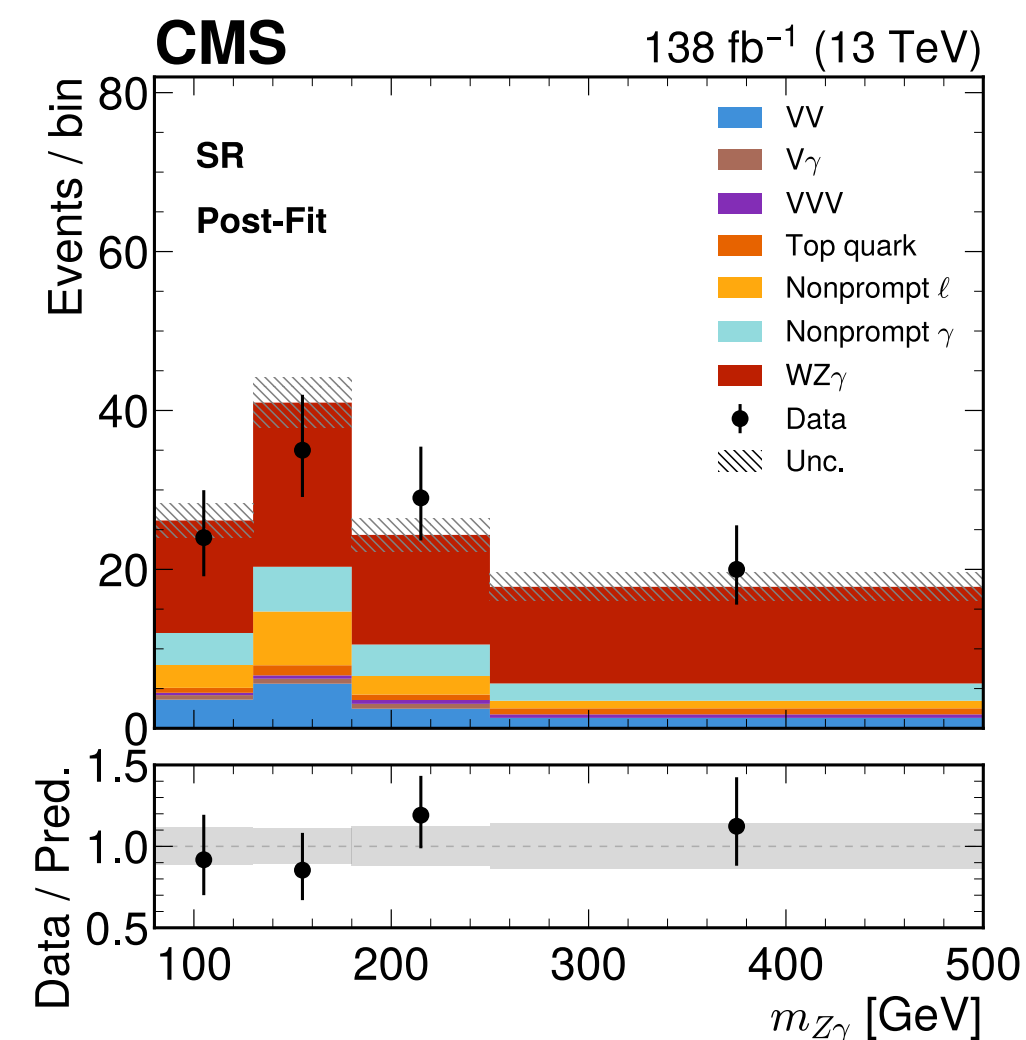


- WZ γ 可以测量四规范玻色子耦合，寻找类轴子粒子的灵敏探针
- 5.4σ 显著度观测到WZ γ
- 发表在[Phys. Rev. D 112 \(2025\) 012009](#)
- 详见北大Ruobing JIANG报告 [link](#)



对反常四规范玻色子耦合的限制：

Operators	Observed limits [TeV ⁻⁴]	Expected limits [TeV ⁻⁴]	Unitarity bound [TeV]
$F_{T,0}/\Lambda^4$	[-2.60, 2.60]	[-2.52, 2.52]	1.32
$F_{T,1}/\Lambda^4$	[-3.28, 3.24]	[-3.18, 3.14]	1.48
$F_{T,2}/\Lambda^4$	[-7.15, 7.05]	[-6.95, 6.85]	1.35
$F_{T,5}/\Lambda^4$	[-2.54, 2.56]	[-2.46, 2.50]	1.55
$F_{T,6}/\Lambda^4$	[-3.18, 3.22]	[-3.08, 3.14]	1.61
$F_{T,7}/\Lambda^4$	[-6.85, 7.05]	[-6.65, 6.85]	1.71



希格斯玻色子性质测量与稀有过程寻找



希格斯玻色子质量和宽度测量

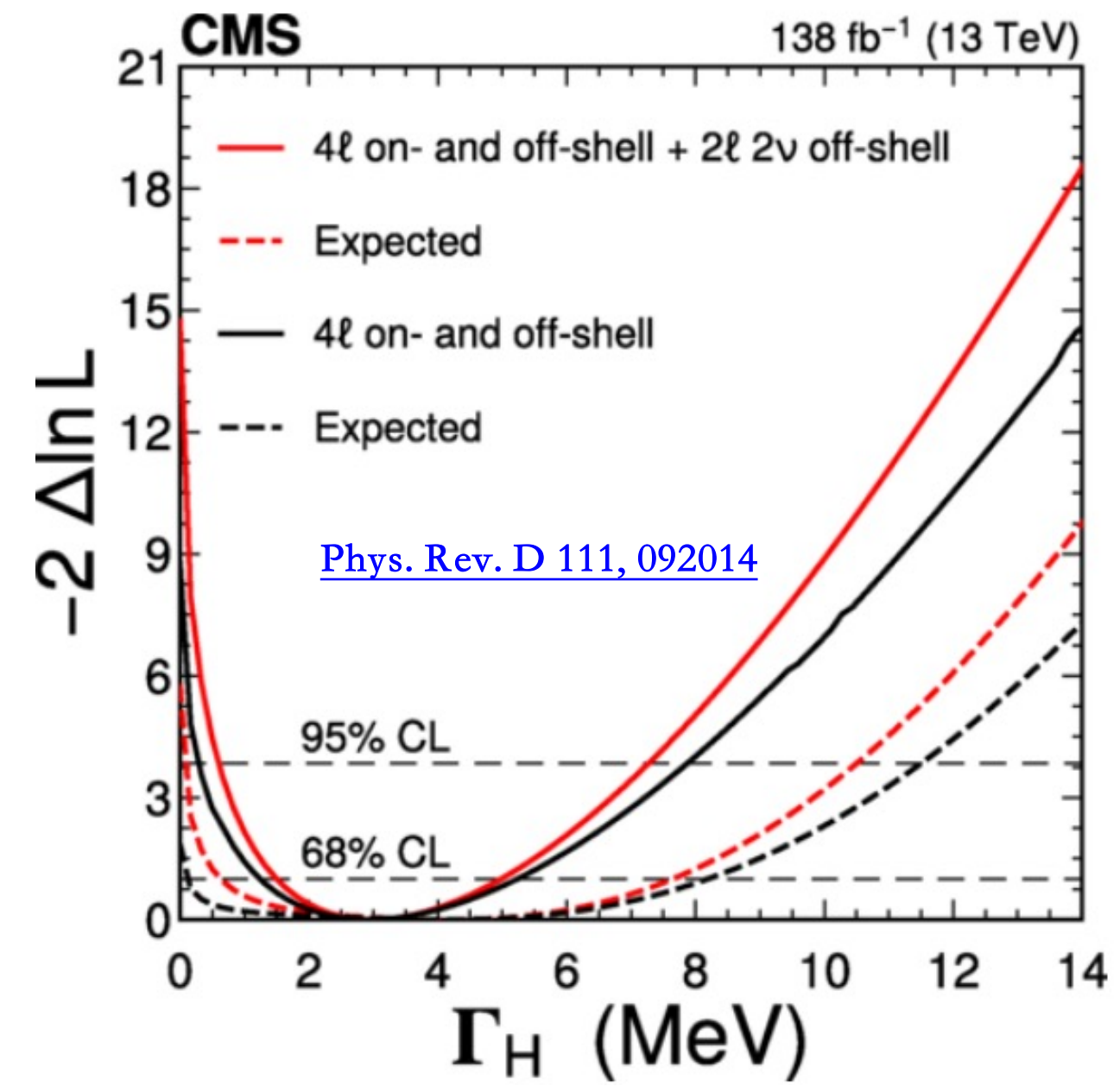
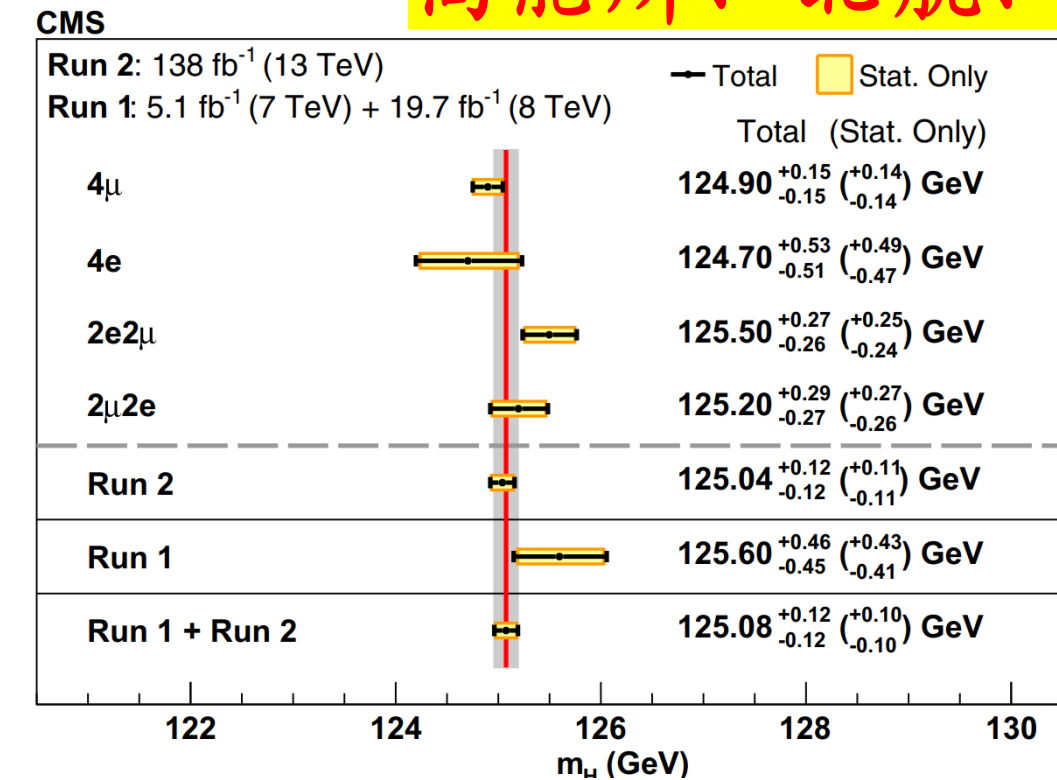
高能所、北航、浙大

➤ 希格斯玻色子质量是标准模型中的自由参数，决定了希格斯玻色子在LHC上的产生截面及衰变分支比、与标准模型粒子耦合强度等性质

➤ $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$ ：基于全部Run 2数据，取得单个衰变道最精确的结果

- ✓ $125.08 \pm 0.10 \text{ stat} \pm 0.05 \text{ syst (GeV)}$
- ✓ 采取了多种技术改进分辨率，降低系统误差，提升分析灵敏度；统计误差仍占主导
- ✓ 结果2025年5月发表在[Phys. Rev. D 111, 092014](#)

➤ [详见高能所Fabio Lemmi报告](#)



希格斯截面和微分截面测量

CMS

➤ 微分截面测量：检验Higgs动力学特性，
探寻某些特定相空间中新物理迹象

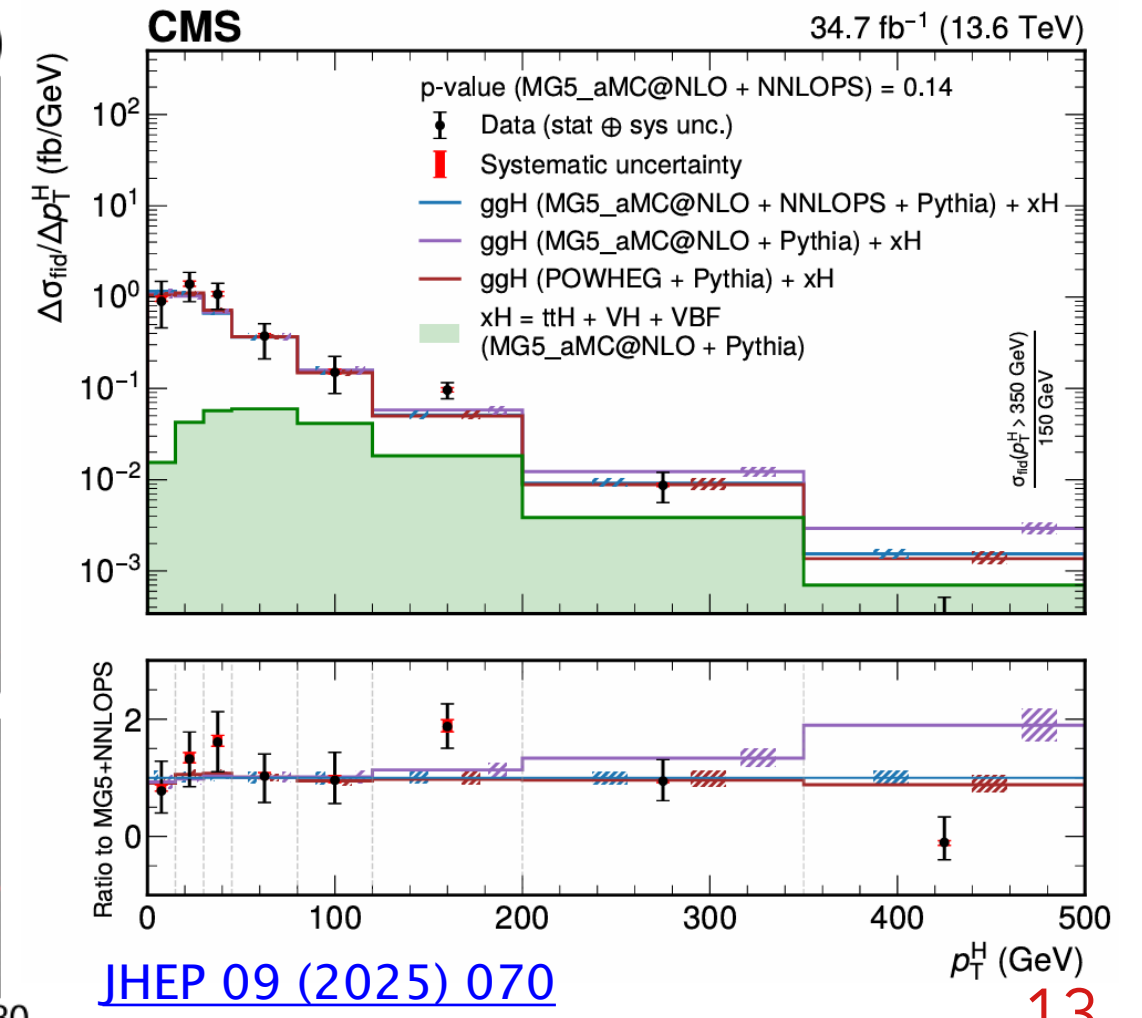
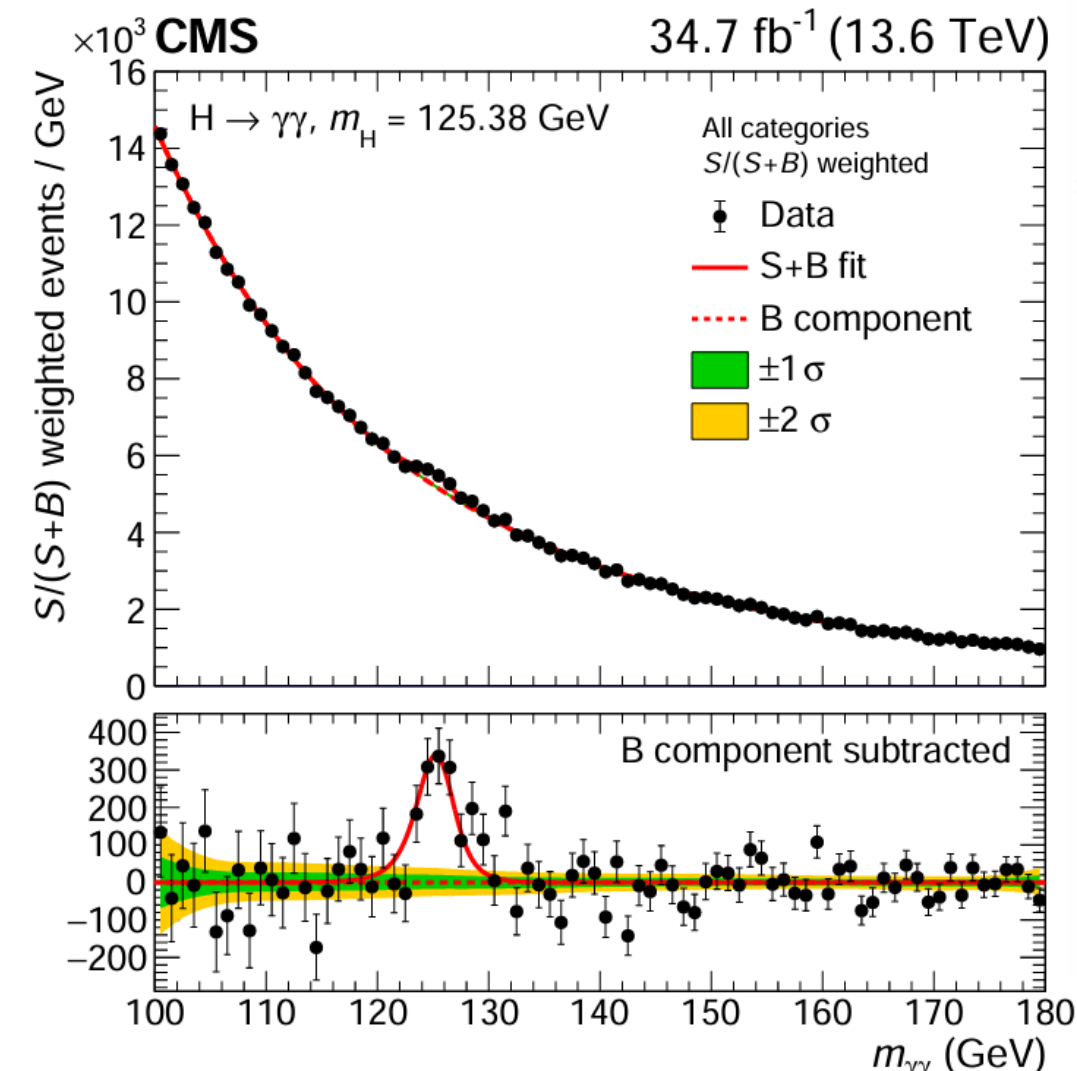
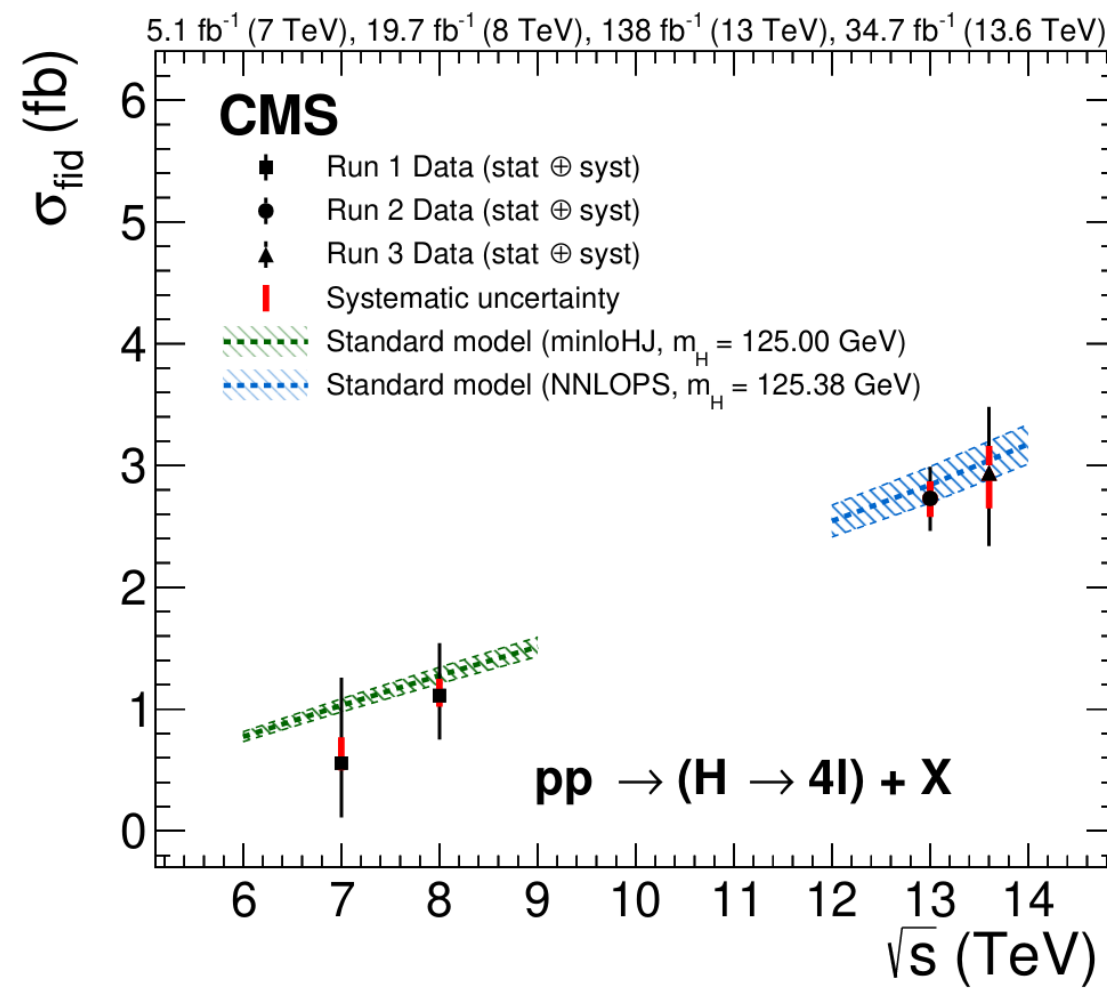
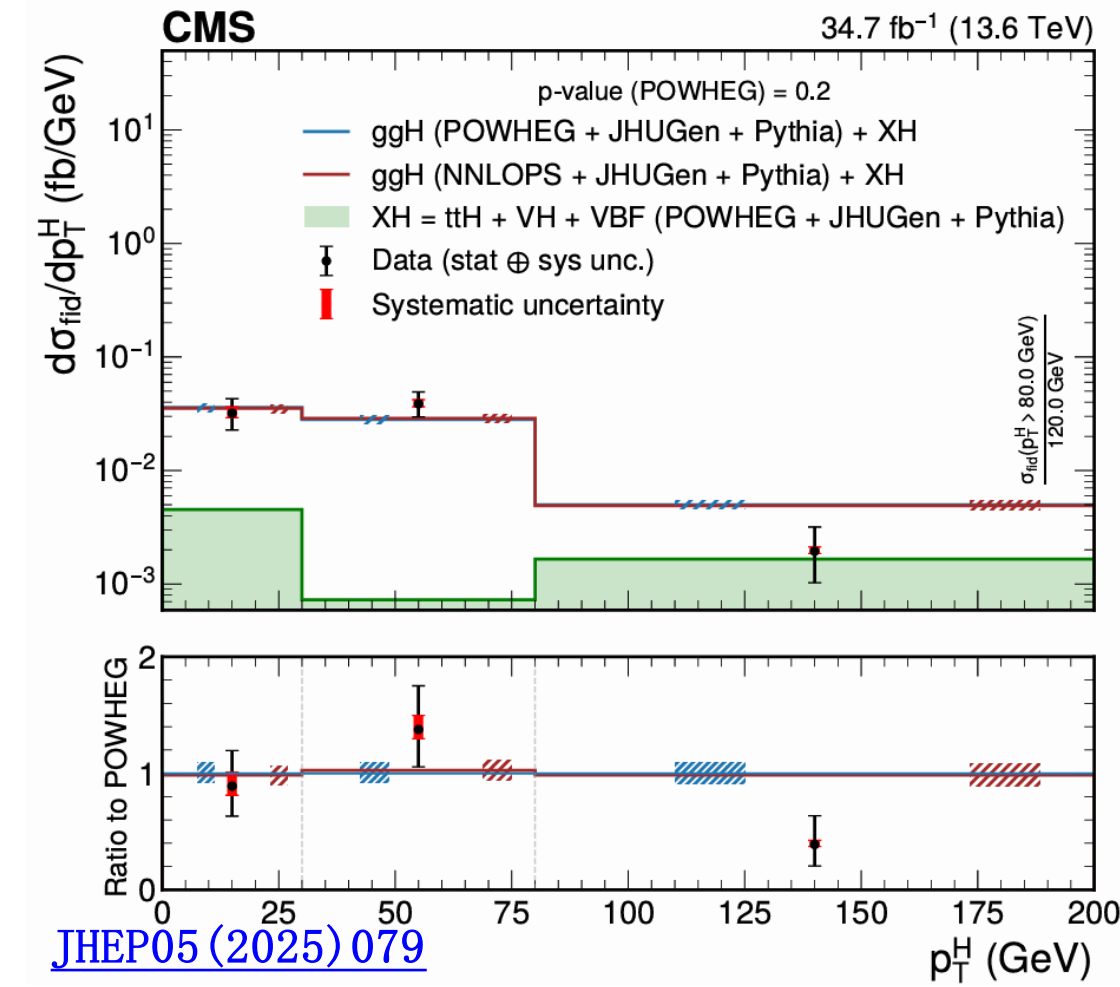
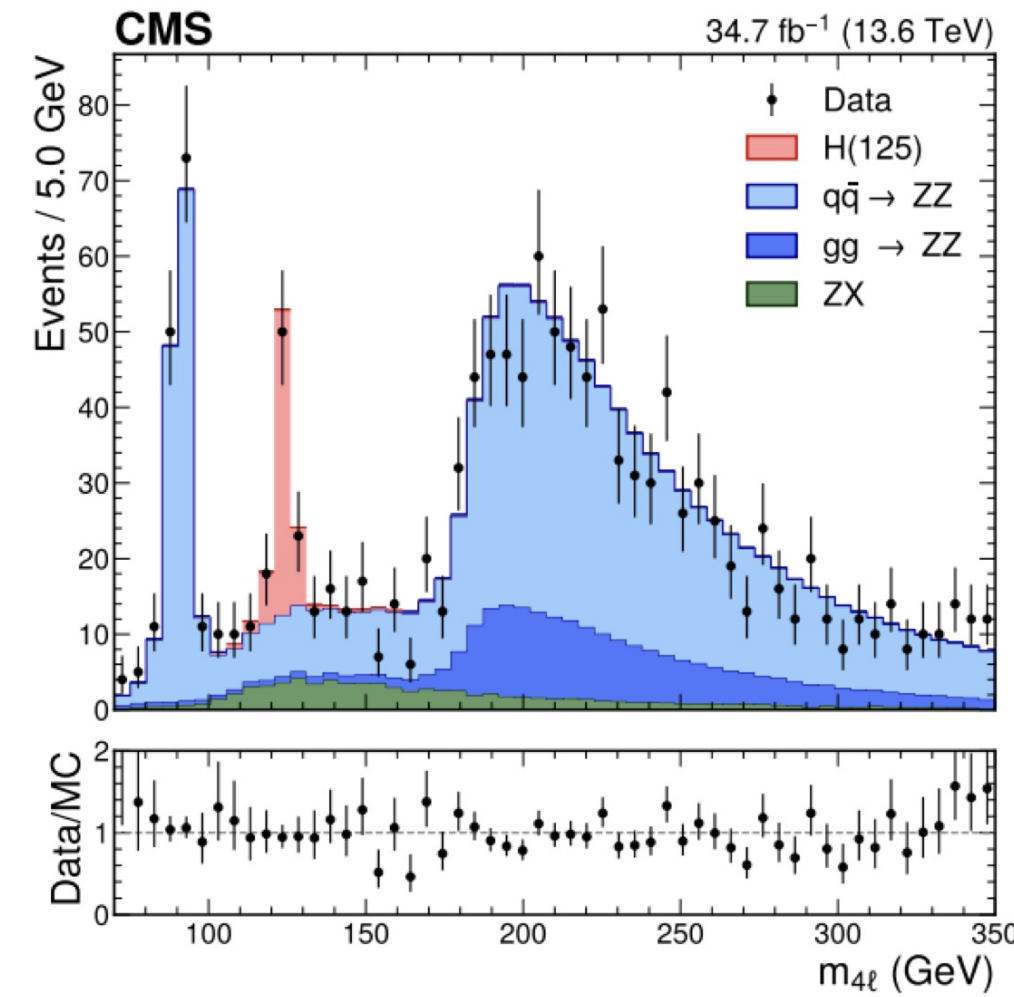
➤ $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$: [JHEP05\(2025\)079](#)

复旦、北航、高能所、浙大

➤ $H \rightarrow \gamma\gamma$: [JHEP 09 \(2025\) 070](#)

北大、高能所

详见高能所
Fabio Lemmi
报告



大动量 $H \rightarrow WW$ 探测与喷注标记技术的开发及应用

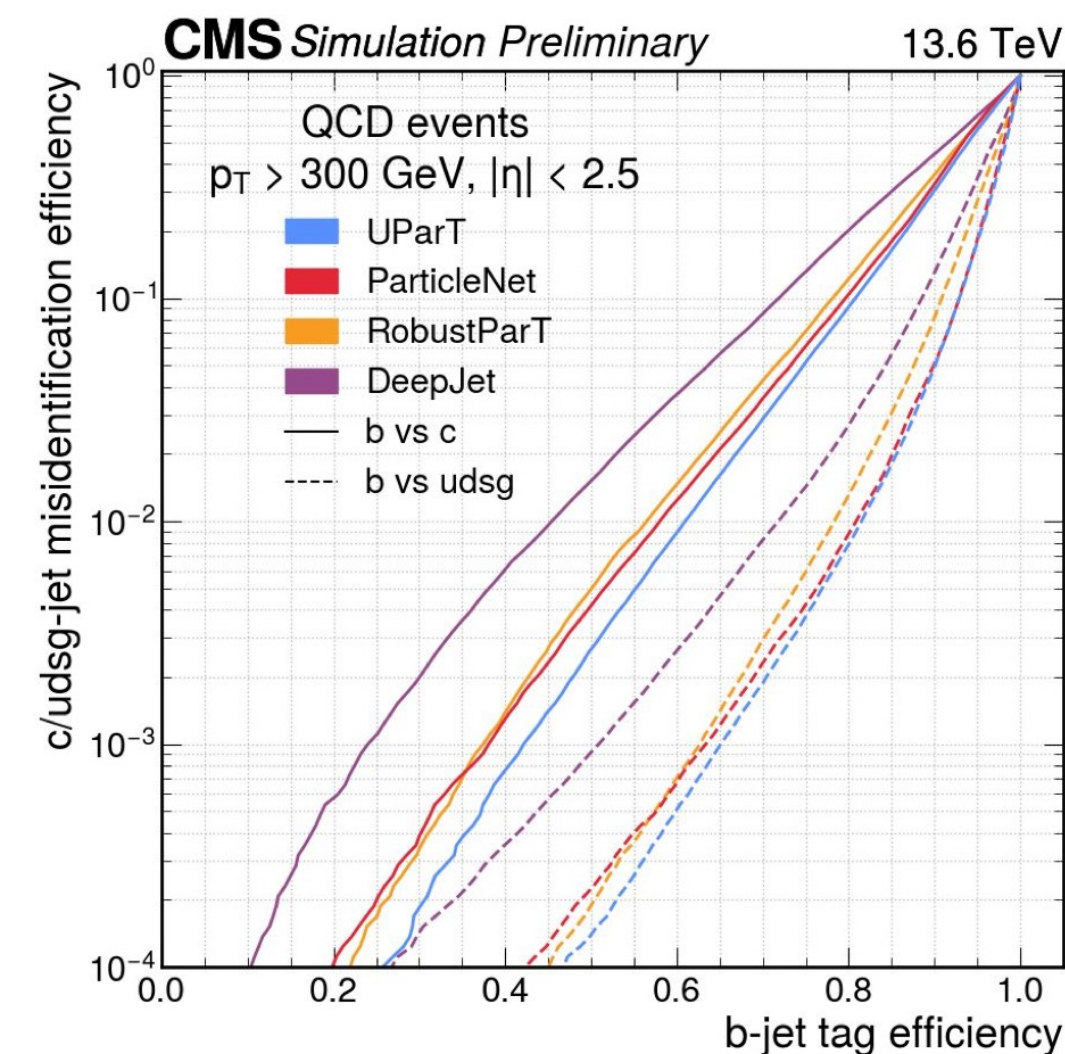
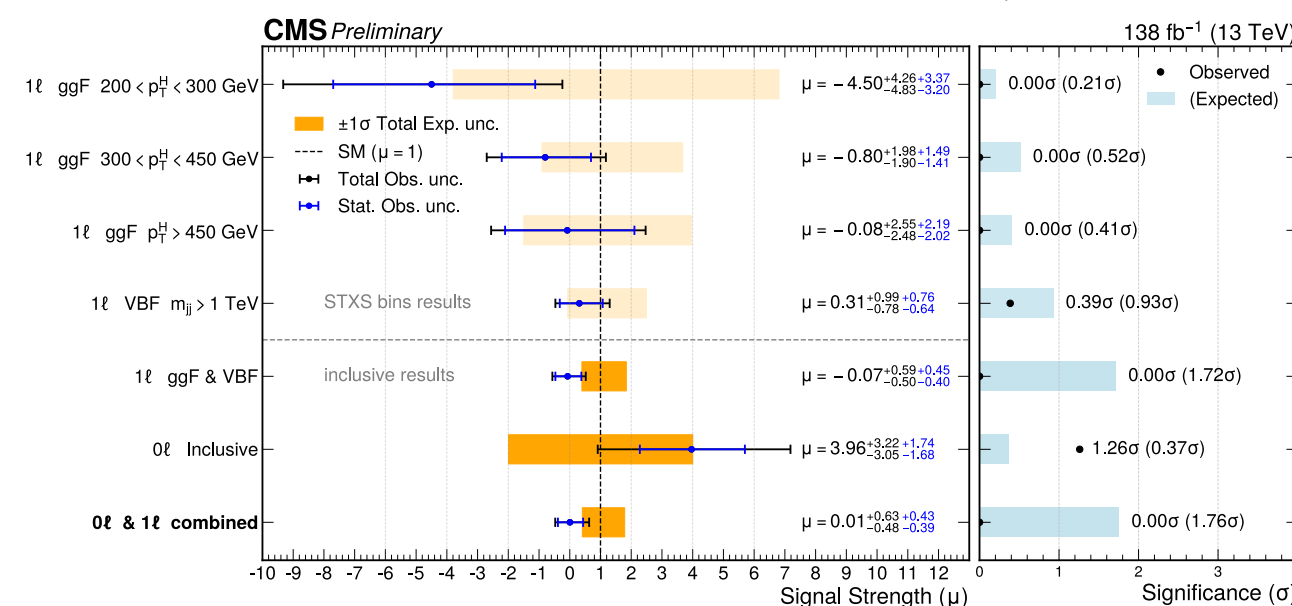
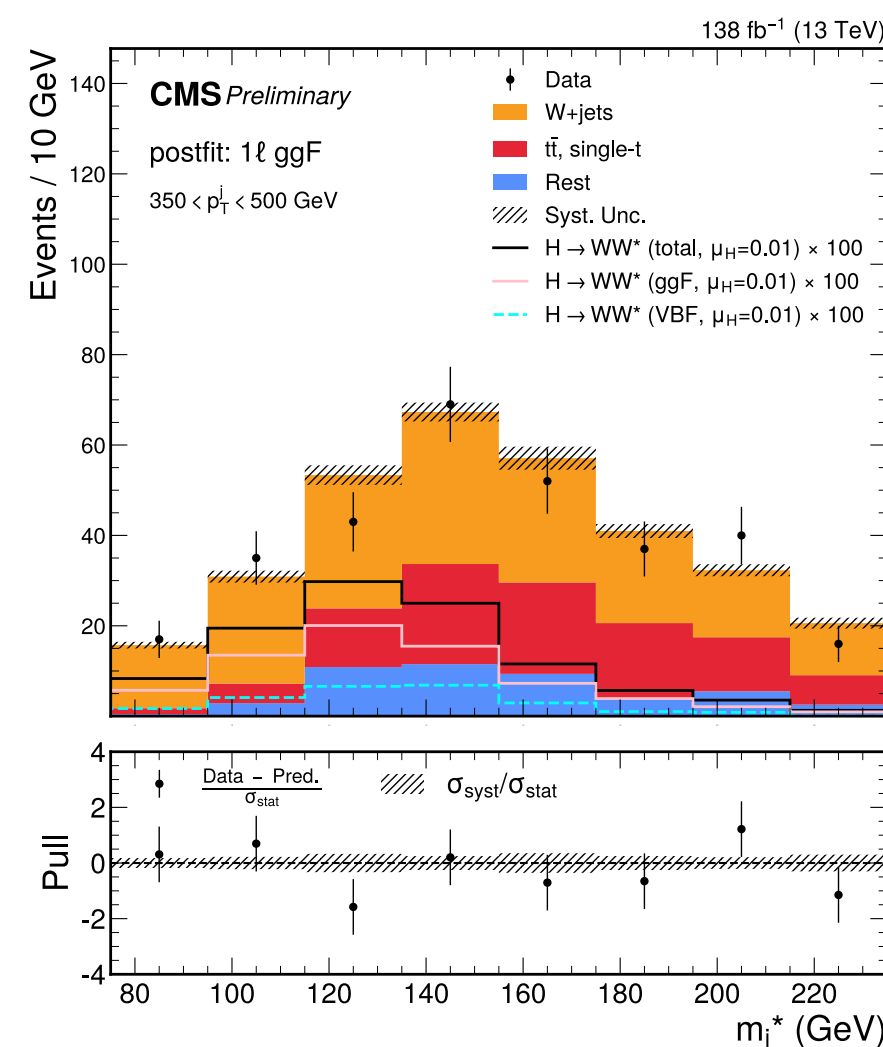
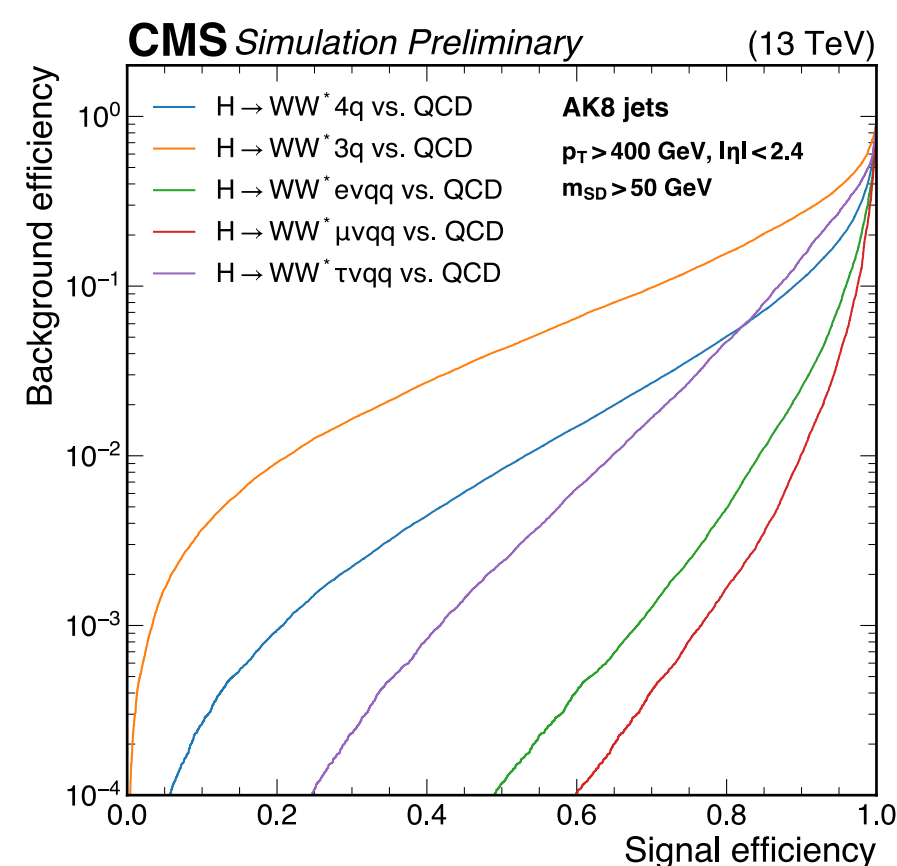
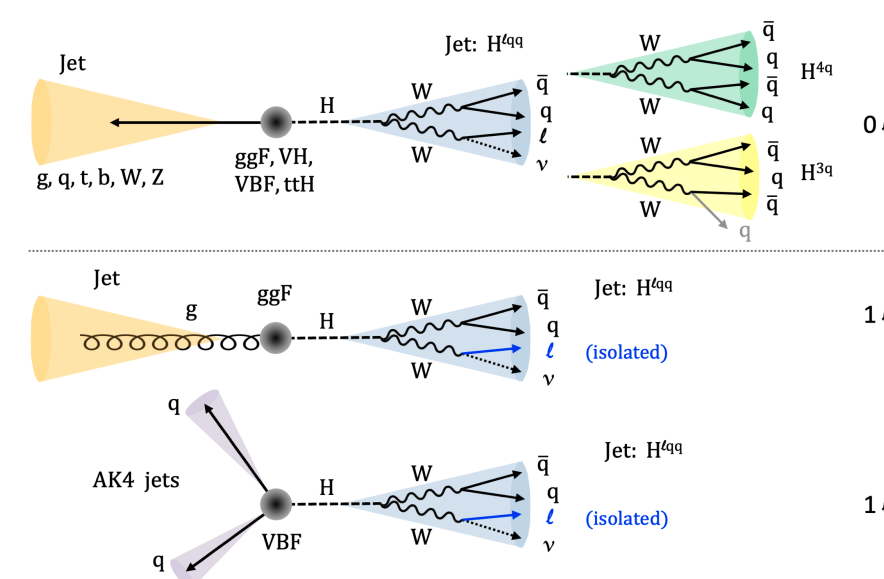
CMS

北大

CMS-PAS-HIG-24-008

- 从ParticleNet到Transformer架构UParT，北大组在喷注标记技术的开发、校准和在物理分析中的应用做出重要进展
- Transformer方法标记 $H \rightarrow WW^* \rightarrow \ell \nu qq / qqqq$ 形成的AK8大半径喷注，CMS首次对大动量 $H \rightarrow WW$ 的探测

- 详见北大付大为报告



CMS Collaboration, A unified approach for jet tagging in Run 3 at $\sqrt{s} = 13.6$ TeV in CMS [CMS DP-2024/066](#)

Run 2 CMS非共振态双希格斯联合测量



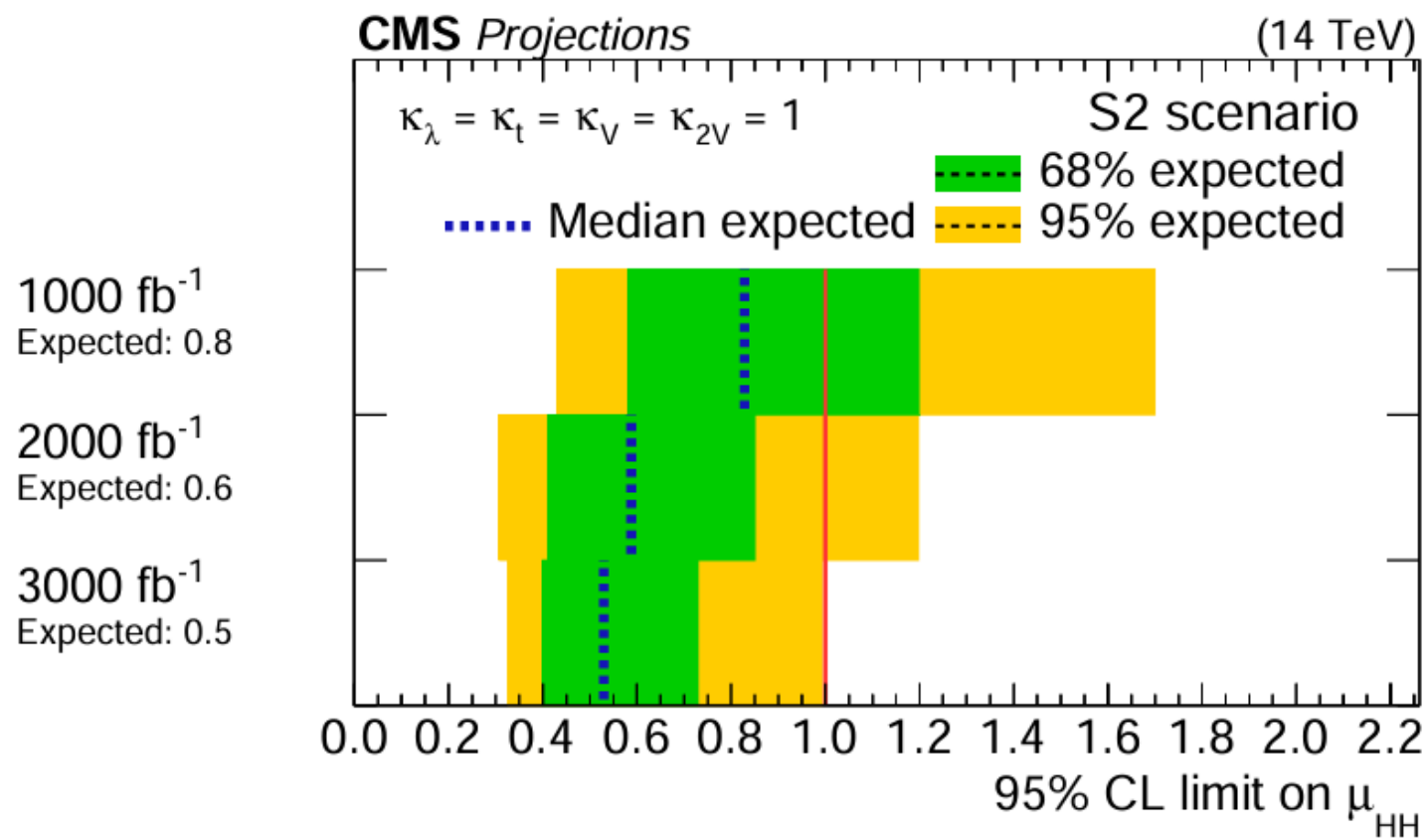
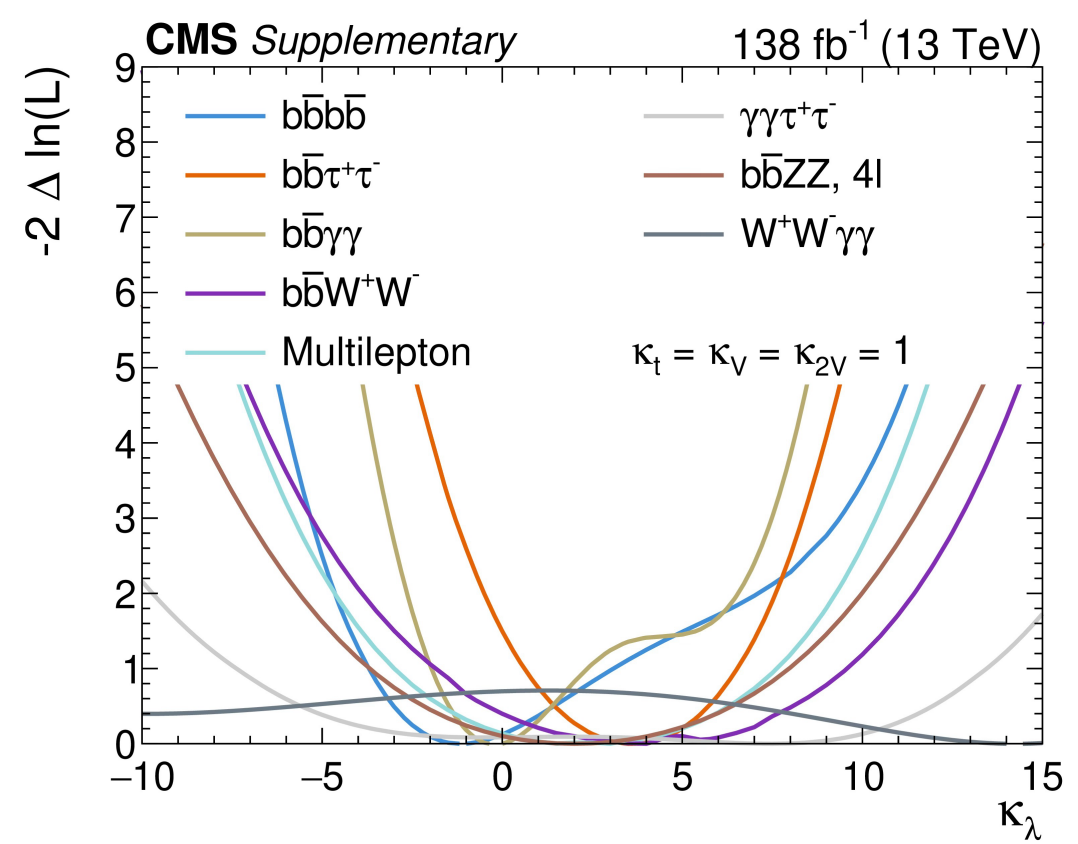
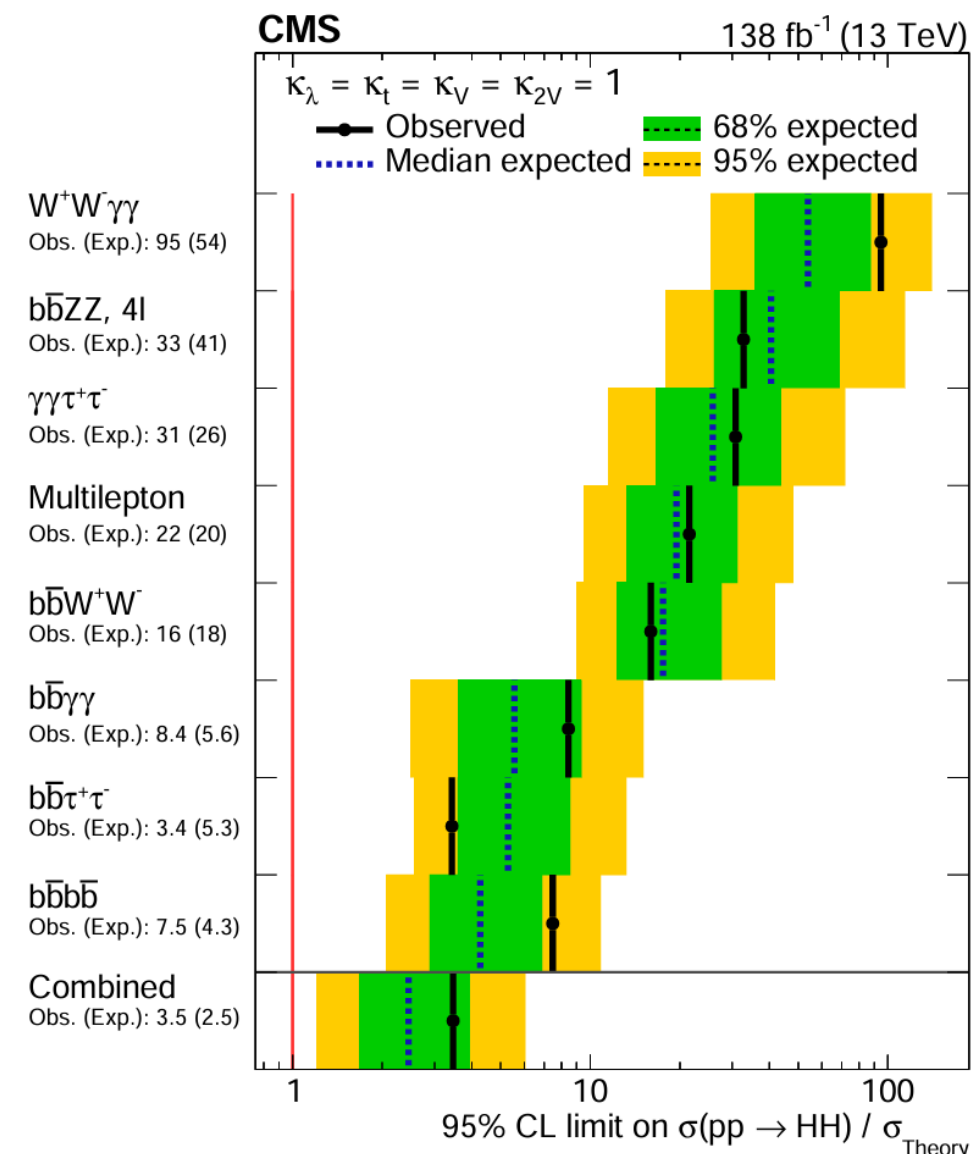
北大、高能所、科大

➤ 基于Run 2 CMS HH分析，开展统计联合测量
[arXiv:2510.07527](https://arxiv.org/abs/2510.07527)

- ✓ CMS实验最精确的HH截面上限测量结果: < 3.5 (2.5) σ_{SM} obs. (exp.)
- ✓ CMS实验最精确的自耦合参数限制度: $-1.39 < \kappa_\lambda < 7.02$ 95% CL
- ✓ 高亮度LHC的预期结果: 双希格斯产生的实验证据的物理潜力

Analysis	μ	κ_λ	κ_{2V}	HEFT
b $\bar{b}$ b $\bar{b}$, resolved jets	3.9 (7.8)	[-2.3, 9.4]	[-0.1, 2.2]	✓
b $\bar{b}$ b $\bar{b}$, merged jets	9.9 (5.1)	[-9.9, 16.9]	[0.62, 1.41]	✓
VHH, HH $\rightarrow$ b $\bar{b}$ b $\bar{b}$	$\mu_{VHH} < 294$ (124)	[-37.7, 37.2]	[-12.2, 8.9]	—
b $\bar{b}$ $\tau\tau$	3.3 (5.2)	[-1.7, 8.7]	[-0.4, 2.6]	✓
b $\bar{b}\gamma\gamma$	7.7 (5.2)	[-3.3, 8.5]	[-1.3, 3.5]	✓
b $\bar{b}$ WW, WW $\rightarrow \ell\nu q\bar{q}/2\ell 2\nu$	14 (18)	[-7.2, 13.8]	[-8.7, 15.2]	✓
b $\bar{b}$ WW, WW $\rightarrow 4q$	141 (69)	—	[-0.04, 2.05]	—
HH multilepton	21.3 (19.4)	[-6.9, 11.1]	—	✓
$\tau\tau\gamma\gamma$	33 (26)	[-13, 18]	—	—
b $\bar{b}$ ZZ	32.4 (39.6)	[-8.8, 13.4]	—	—
WW $\gamma\gamma$	97 (53)	[-25.8, 14.4]	—	✓

► multilepton (e, μ , τ_h), HH $\rightarrow$ WWWW + WW $\tau\tau$ + $\tau\tau\tau\tau$



Run 3 非共振态 $HH \rightarrow b\bar{b}\gamma\gamma$ 探测



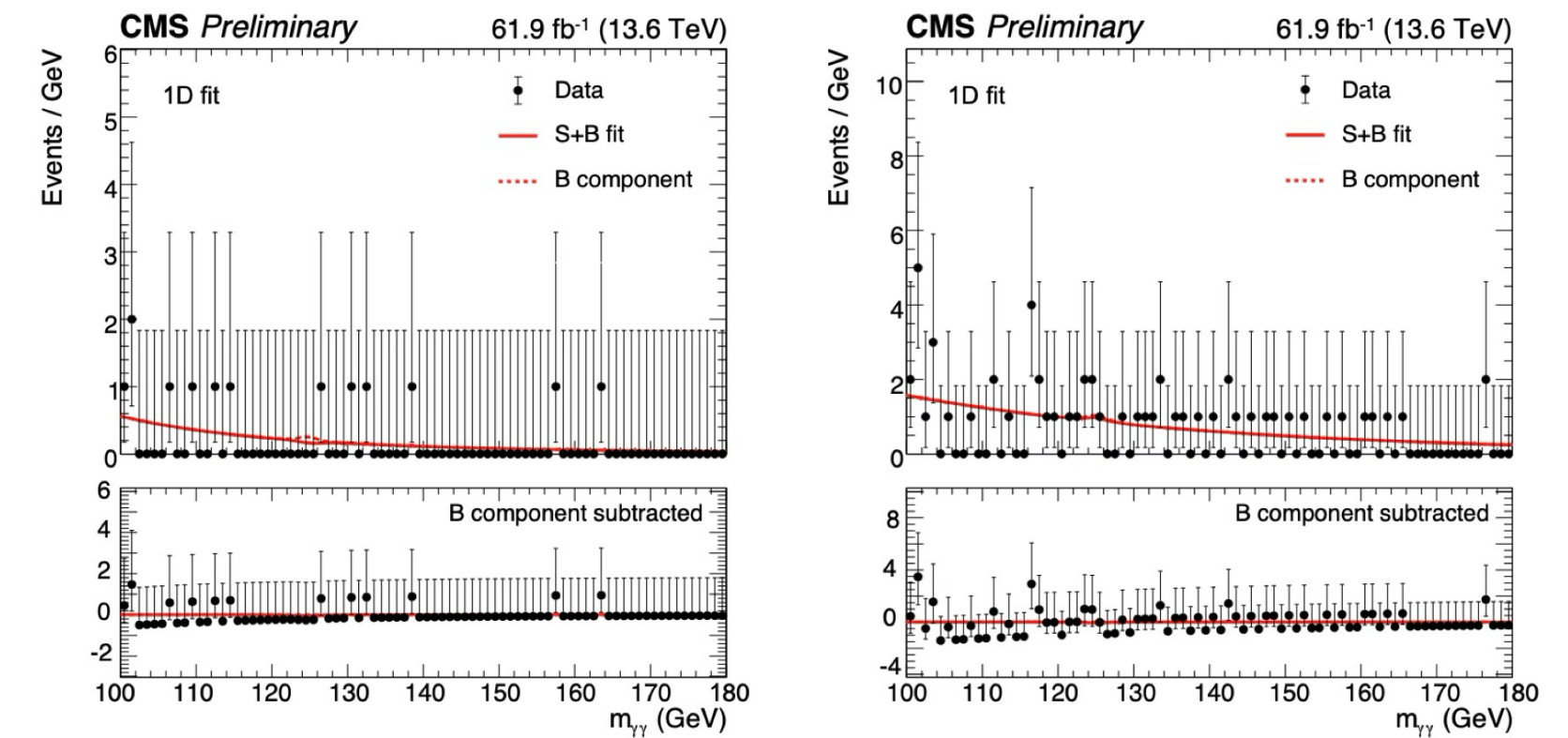
Run 3 2022 + 2023年数据

科大、北大、高能所

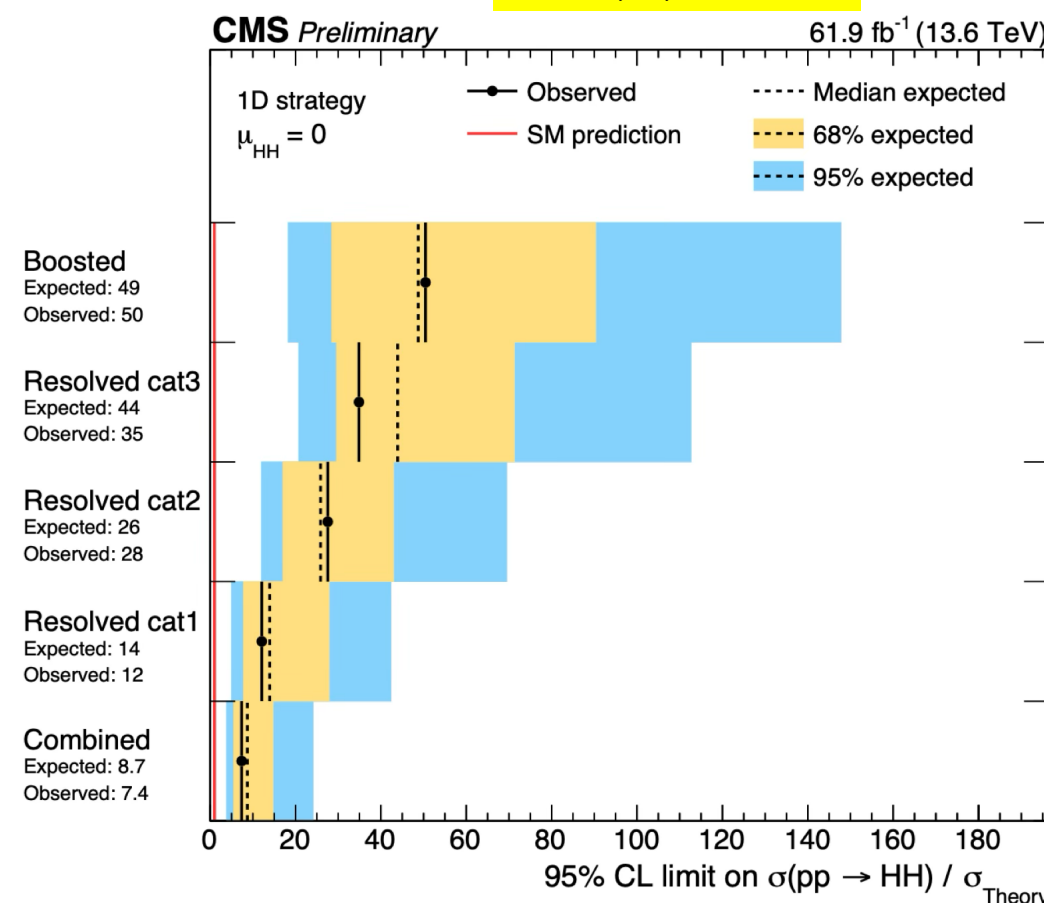
- $HH \rightarrow b\bar{b}\gamma\gamma$ 对 H 自耦合的限制 (CMS-PAS-HIG-25-007)
- 2022+2023数据, ParticleNet鉴别AK4、AK8 b夸克喷注
- 在ParticleNet b喷注横向动量回归算法, 可提升 $m(Hbb)$ 分辨率10-20%
- $m(\gamma\gamma)$ 1D 或 $m(\gamma\gamma) \times m(bb)$ 2D 拟合数据
- HH截面上限: < 7.4 (8.7) σ_{SM} obs. (exp.) 95% CL (1D方法)
 < 11 (7.3) σ_{SM} obs. (exp.) 95% CL (2D方法)

详见北大杨楚雪海报 [link](#)

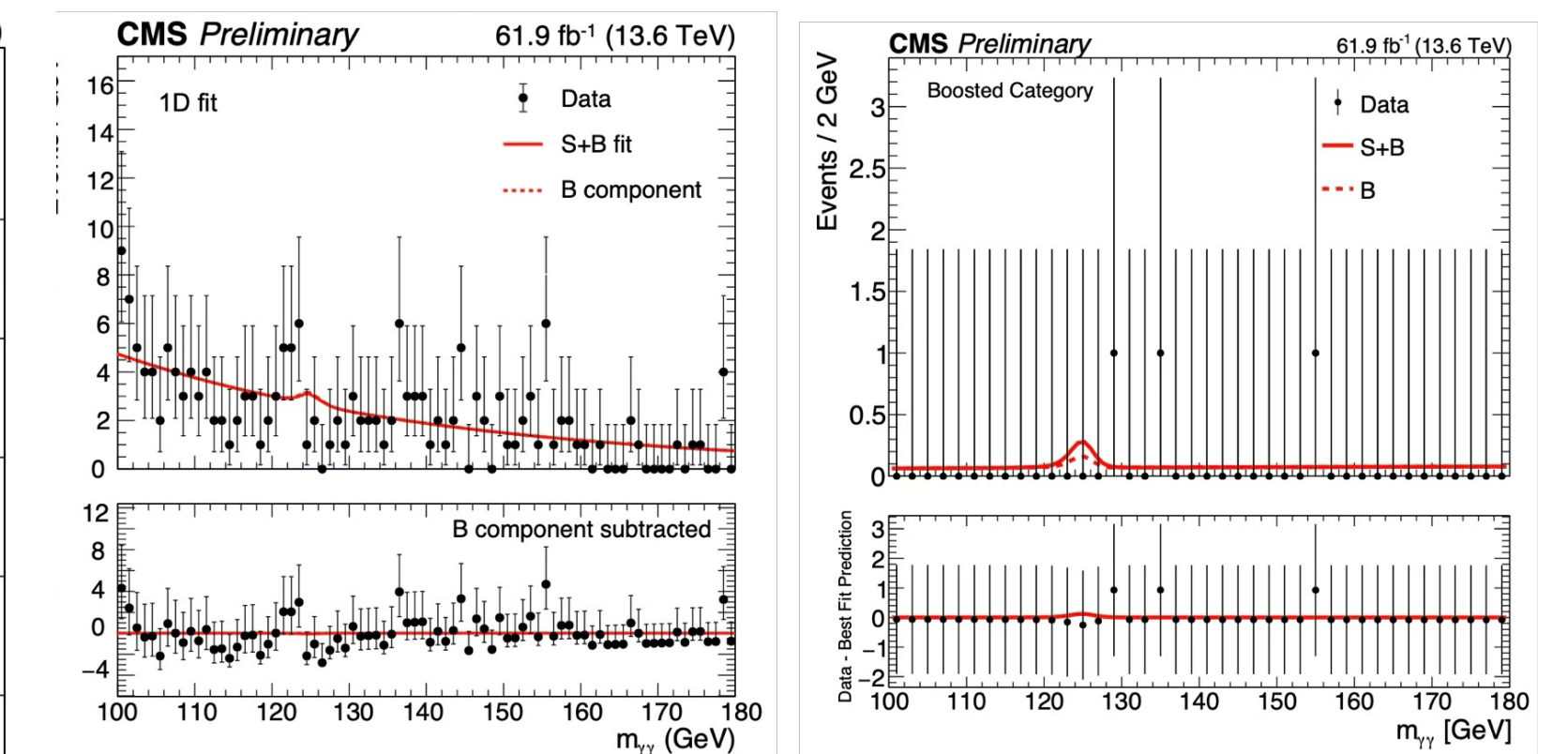
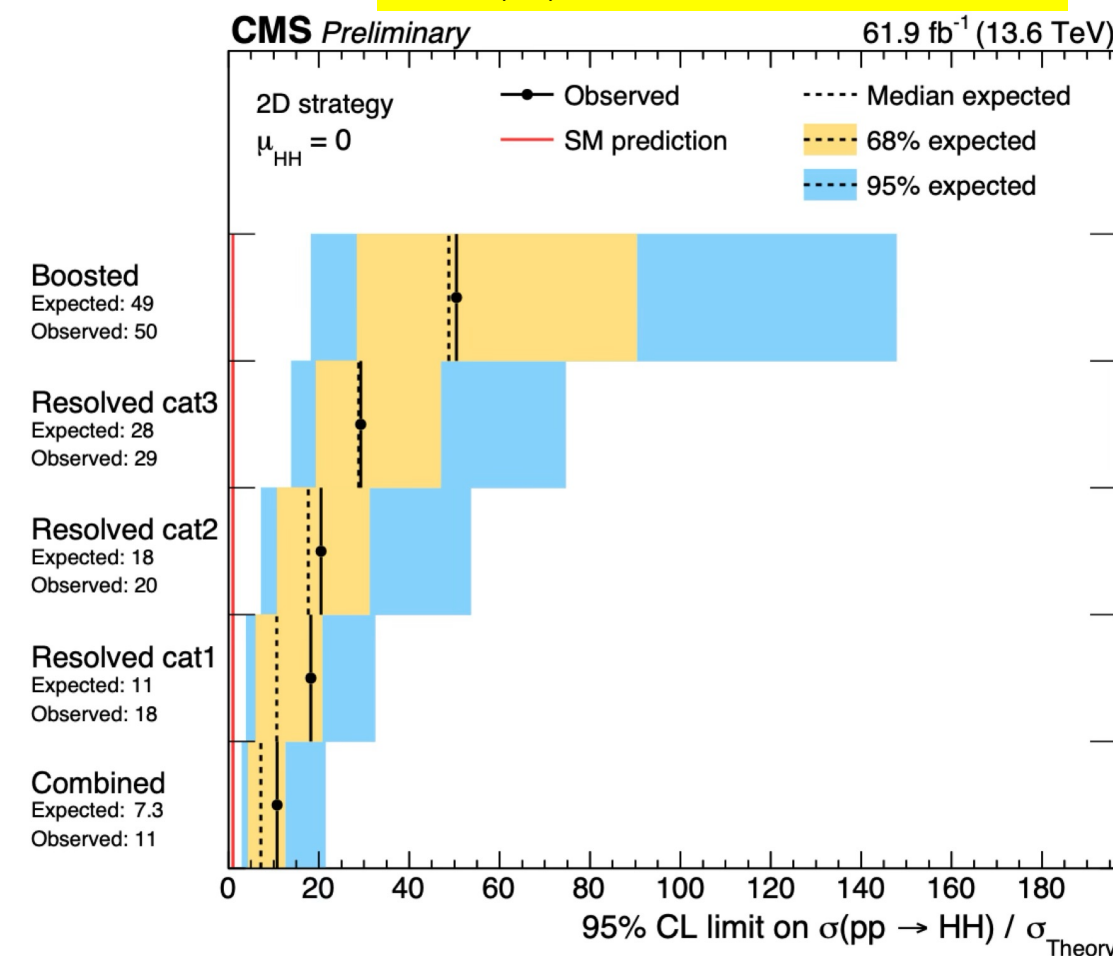
$m(\gamma\gamma)$ 1D



$m(\gamma\gamma)$ 1D



$m(\gamma\gamma) \times m(bb)$ 2D



HHH→6b探测

北大

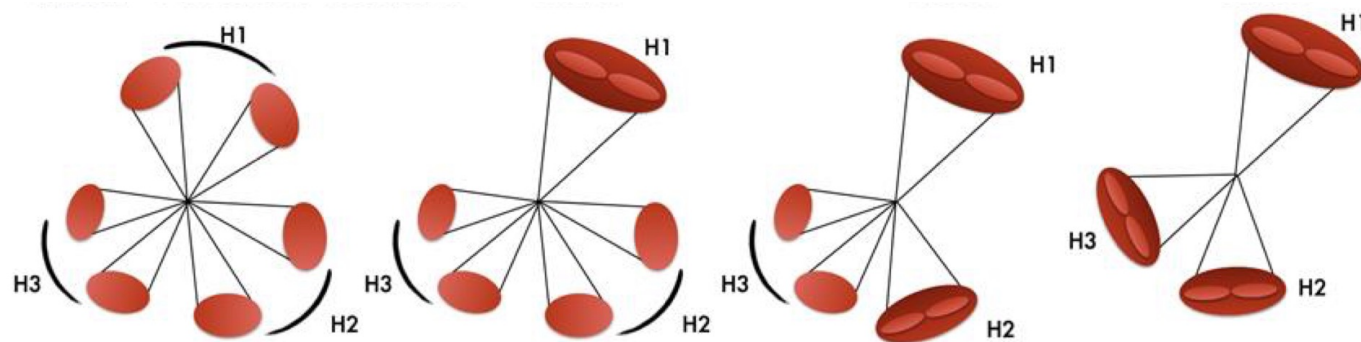


- 13 TeV, HHH产生截面 0.08 ± 0.01 fb

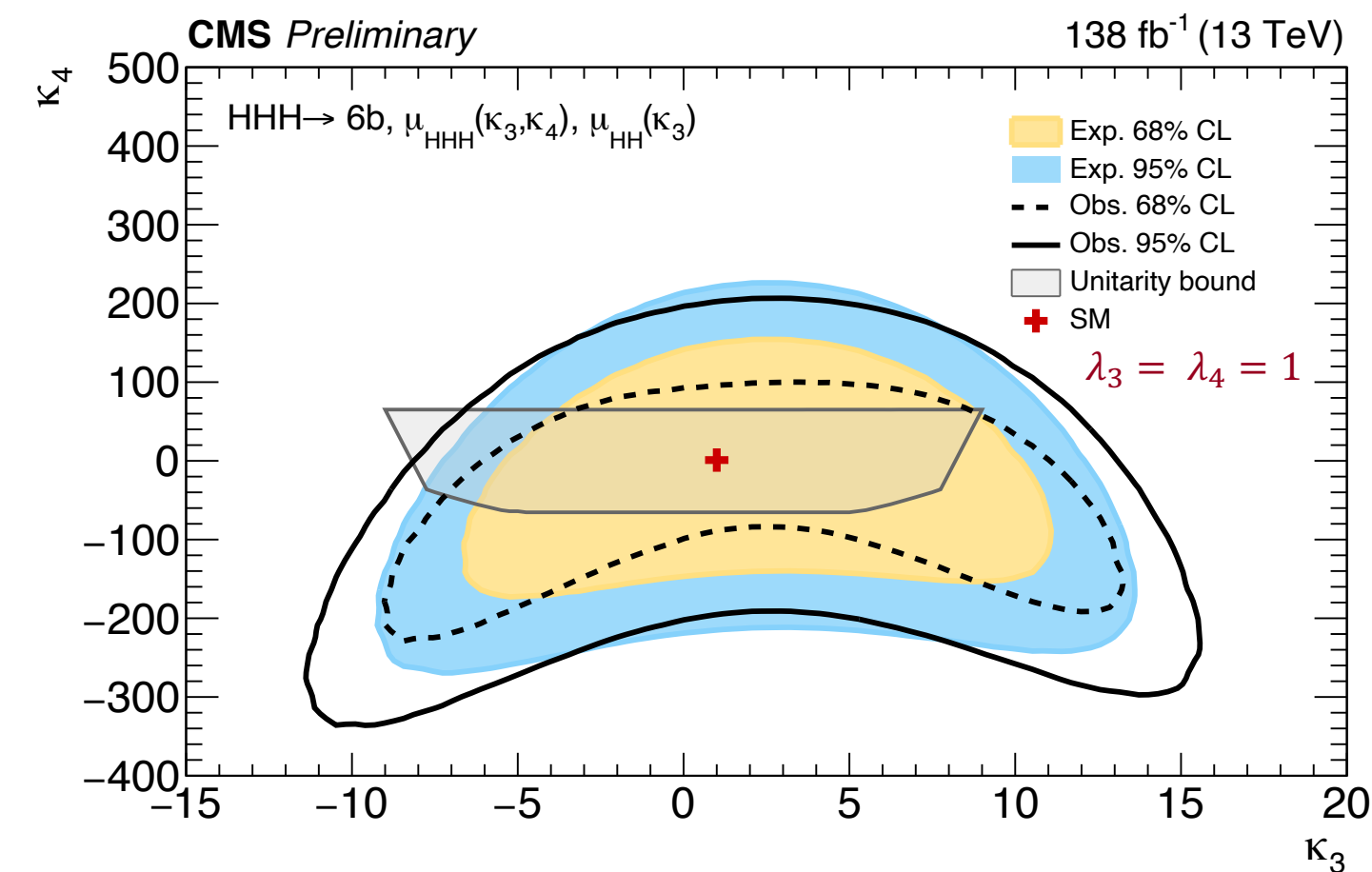
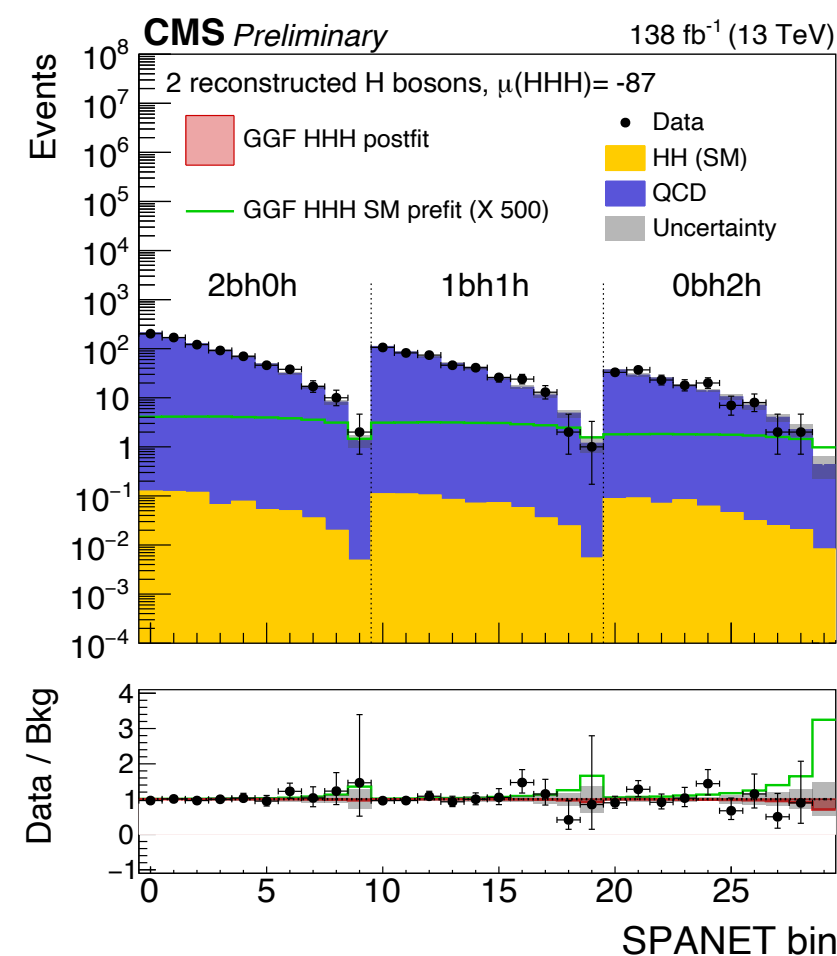
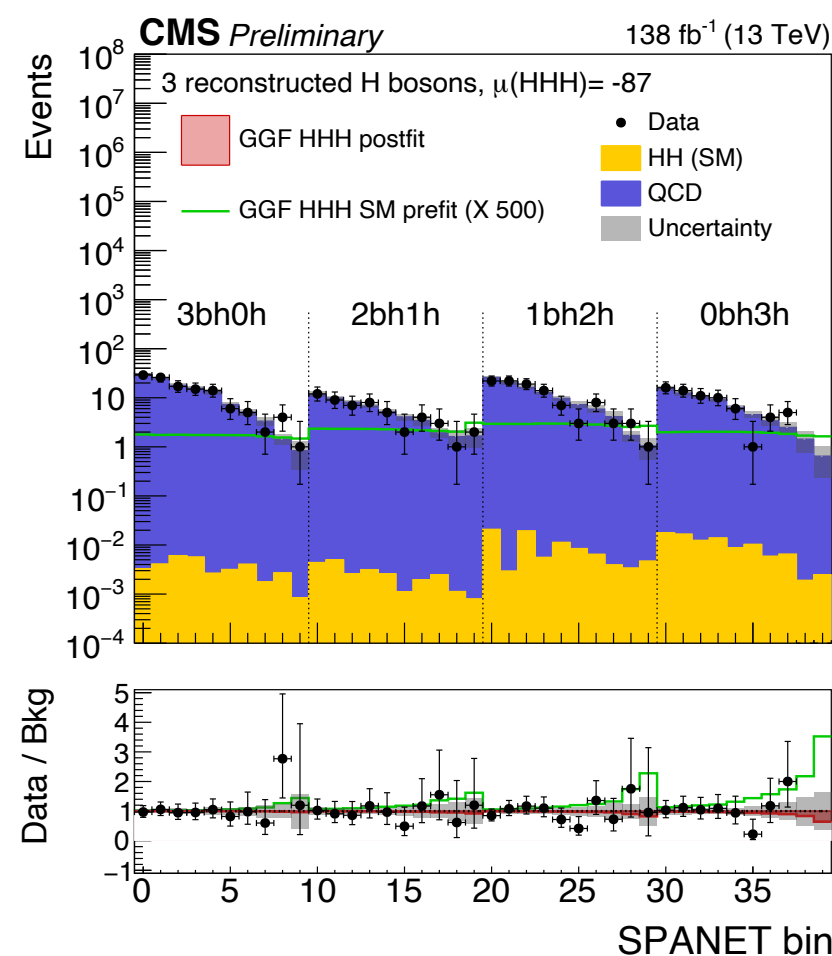
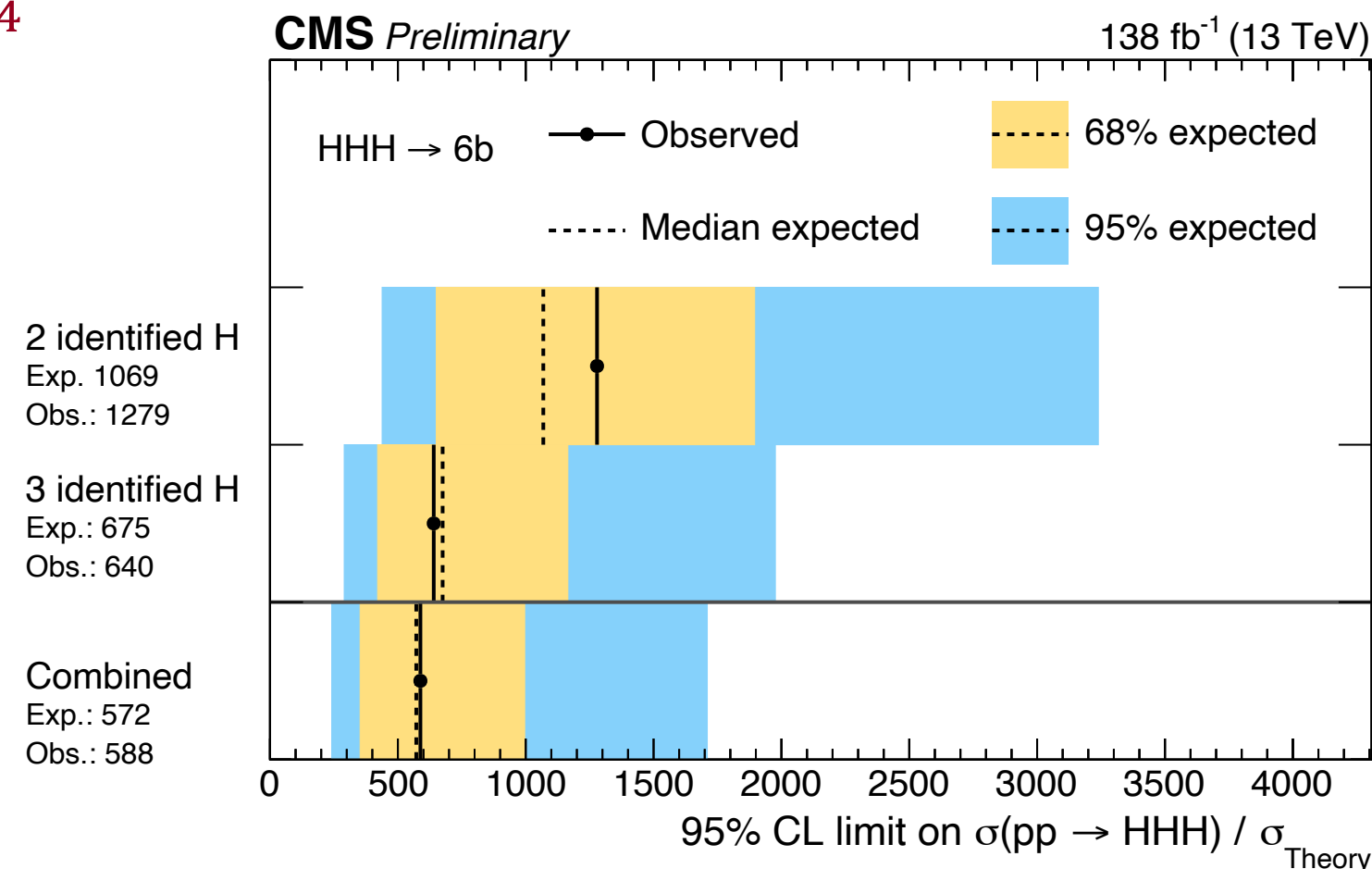
HHH对四点希格斯子耦合敏感

$$V(h) = \frac{1}{2} m_H^2 h^2 + \lambda_3 v h^3 + \frac{1}{4} \lambda_4 h^4$$

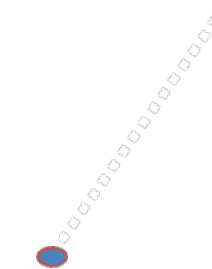
- HHH→6b 全强子末态：ParticleNet AK4、AK8喷注
- SPANET找出希格斯玻色子衰变产物形成的喷注，并压低本底，拟合数据的SPANET输出分布得到HHH信号大小



CMS-PAS-HIG-24-012



超出标准模型新物理寻找



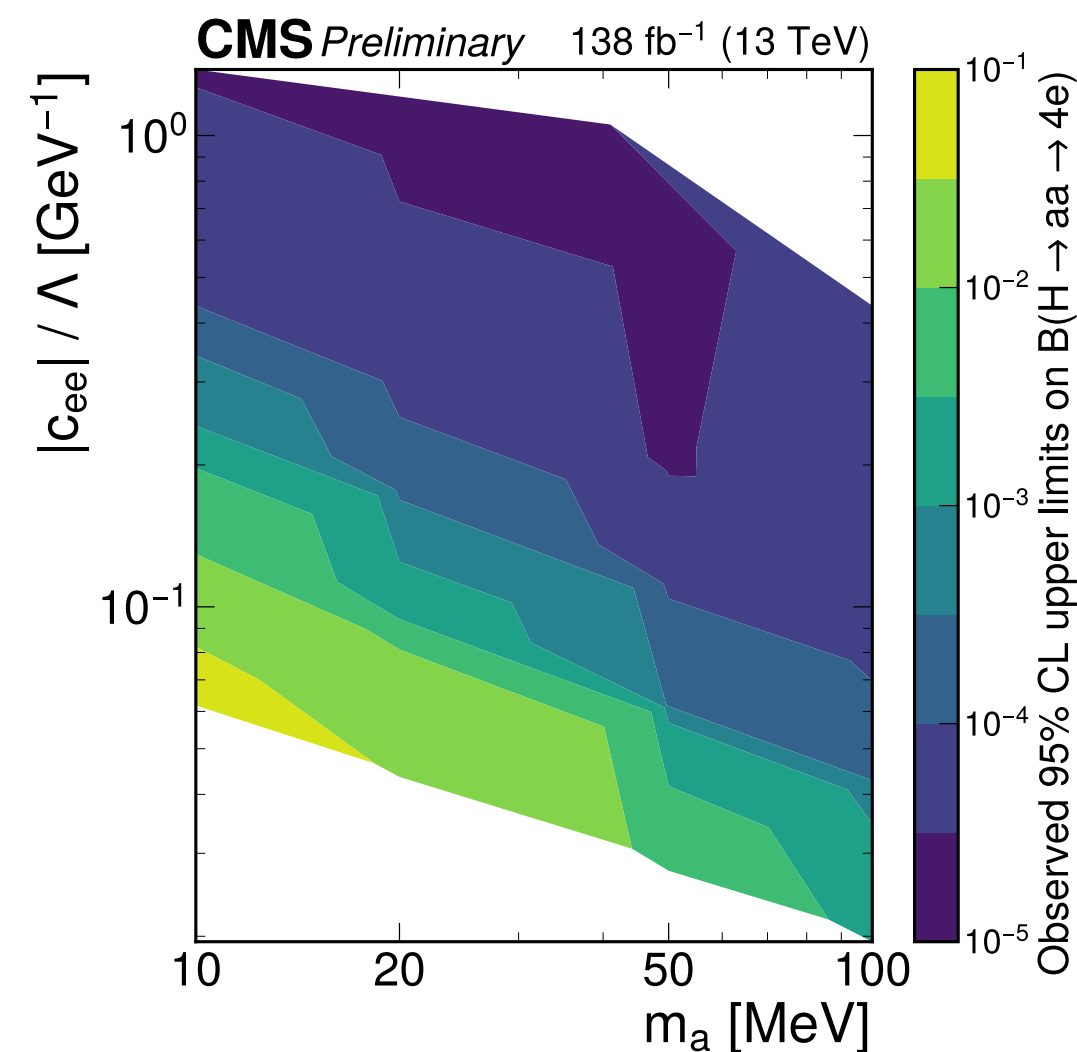
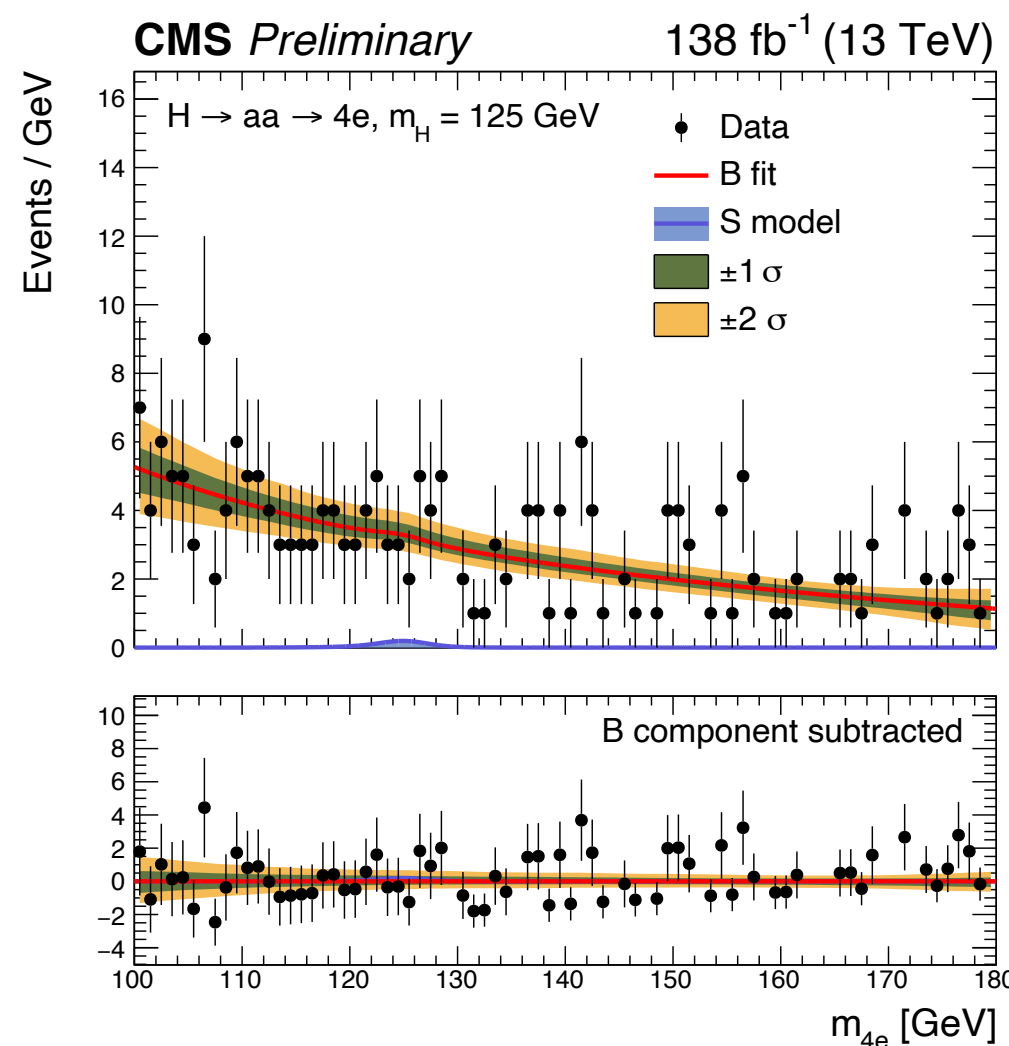
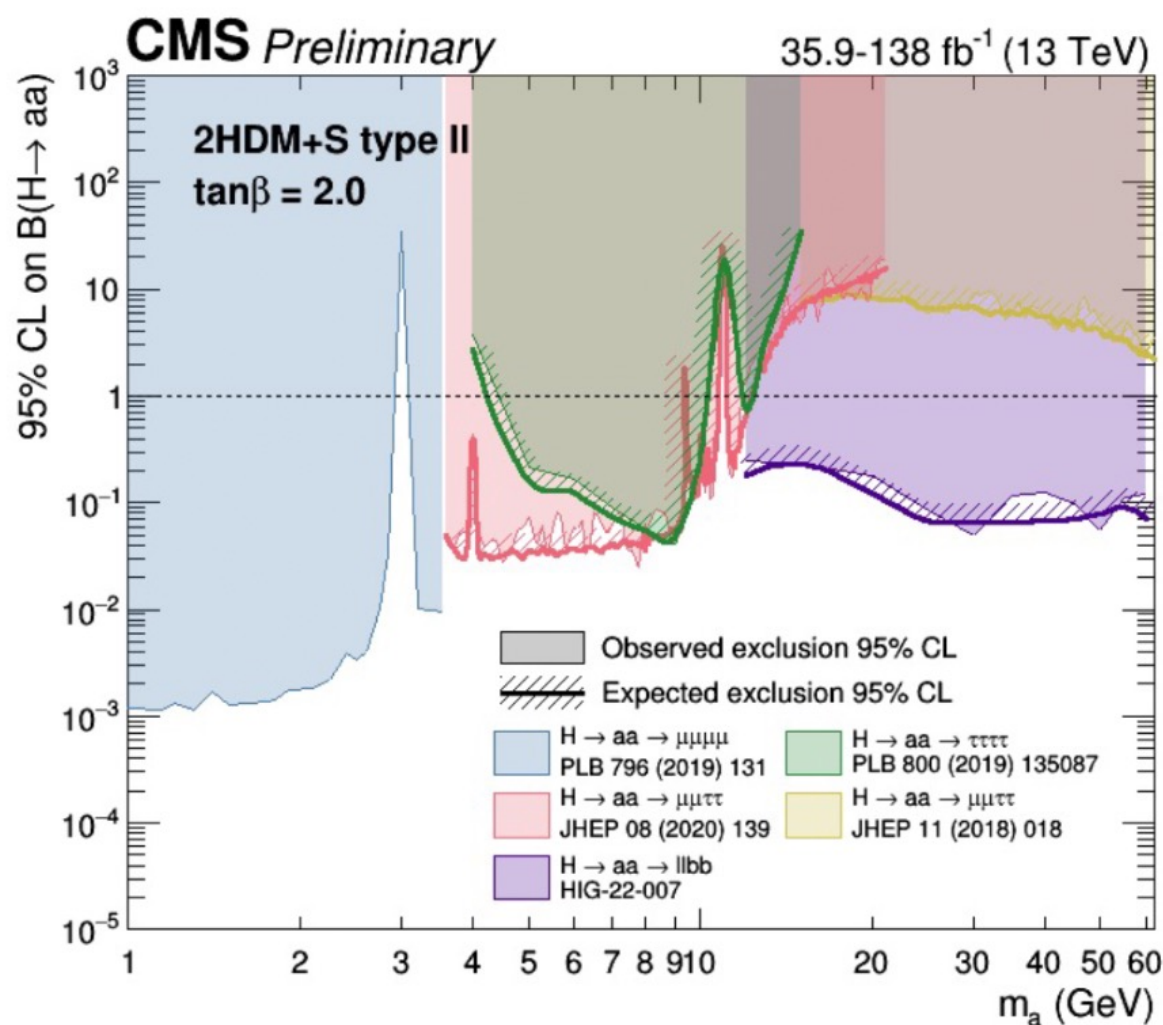
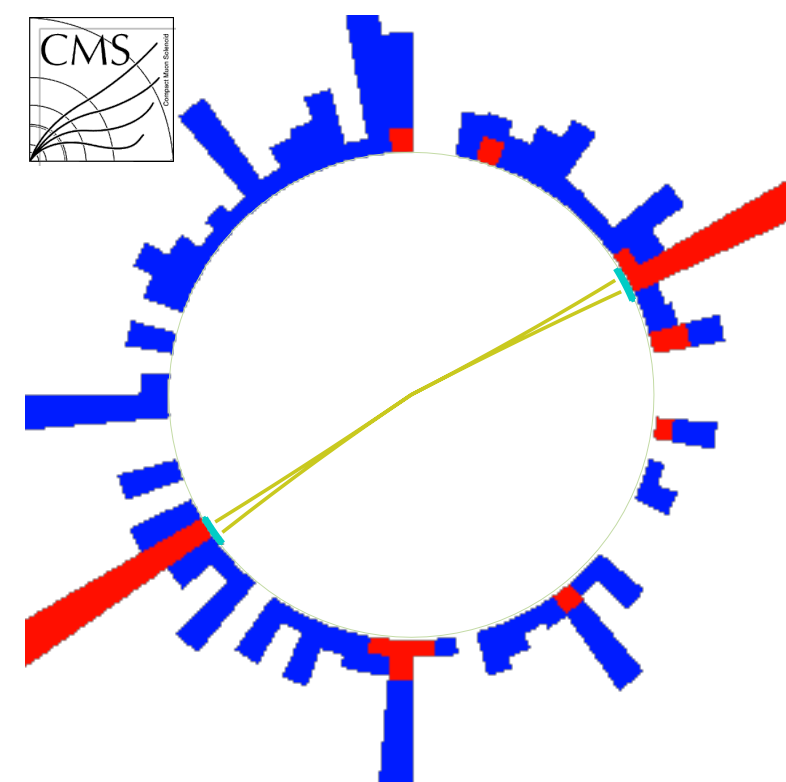
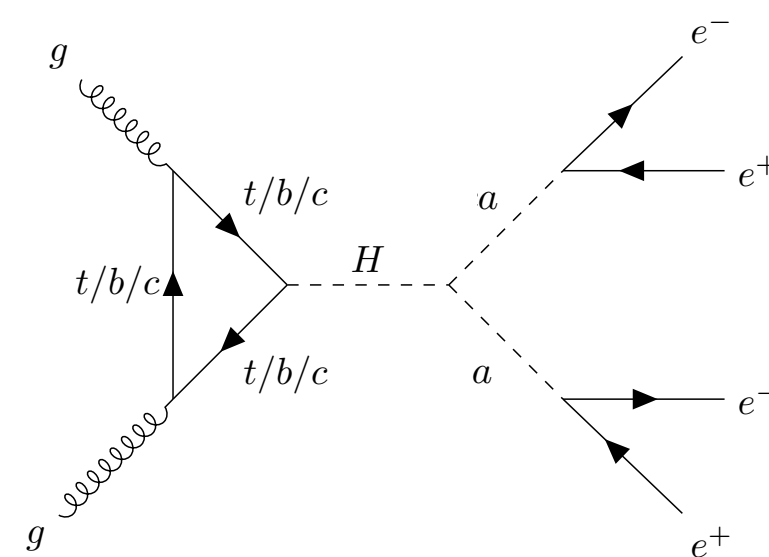
希格斯玻色子的奇异衰变

北大

CMS

- 希格斯玻色子到奇异粒子的衰变被不同的新物理模型预言: 拓展希格斯模型、类轴子粒子等
- ATOMKI 实验超出提供了 $O(10)$ MeV 奇异粒子寻找的额外动机。对该质量范围，电子道非常重要
- 利用机器学习开发专门的重建技术，在CMS实验上进行了 $H \rightarrow aa \rightarrow 4e$ 的首次寻找，拓展新物理寻找的边界

CMS-PAS-EXO-24-031



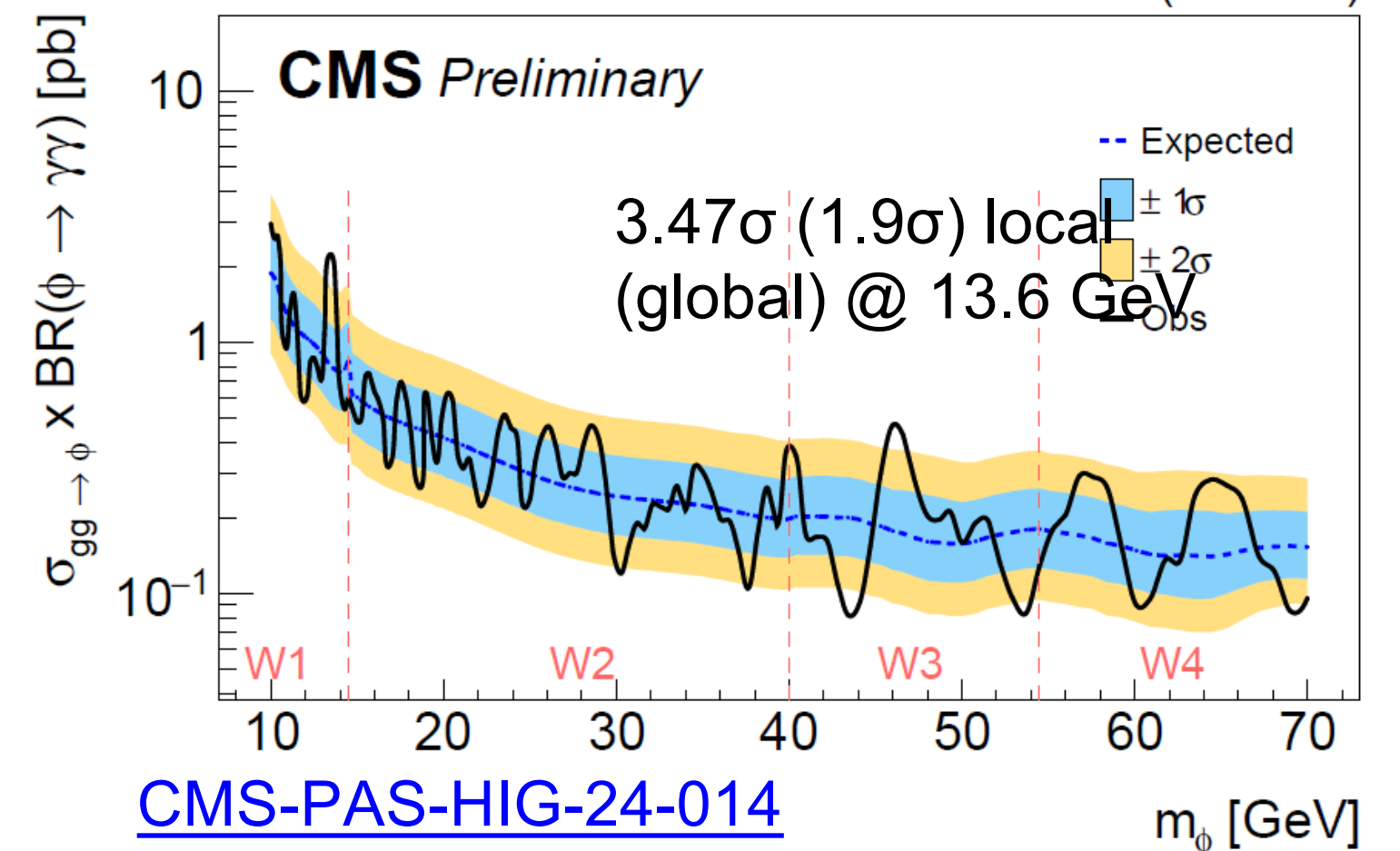
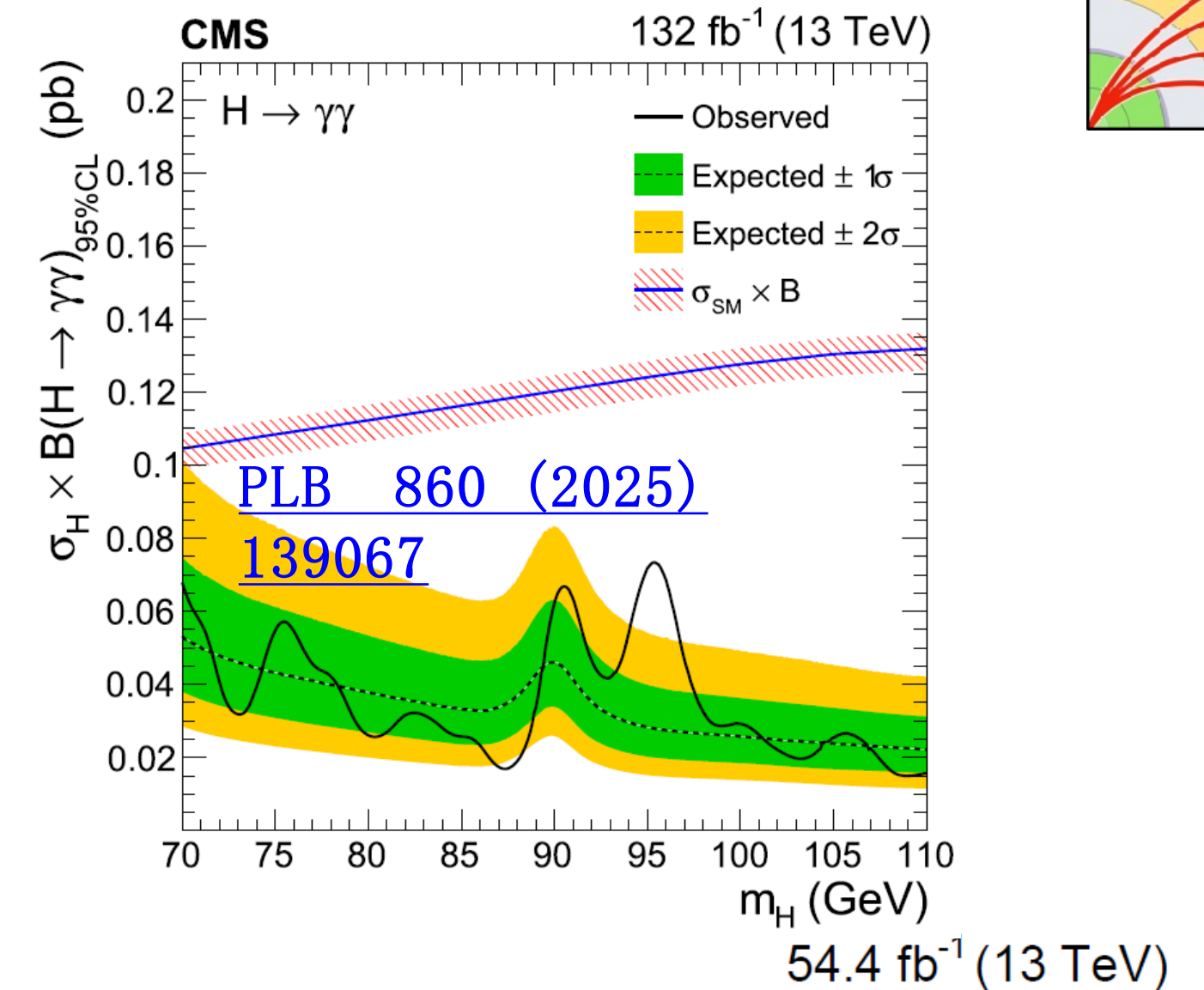
寻找低质量额外希格斯玻色子 $h \rightarrow \gamma\gamma$

高能所

CMS

- 诸多超标准模型（比如2HDM, NMSSM等）预测了多个希格斯玻色子：寻找额外的额外希格斯玻色子, 是寻找BSM的直接有效途径之一
- **高能所主导了Run2双光子末态低质量共振态的寻找**，文章2025年1月份发表在 [PLB 860 \(2025\) 139067](#)
 - ✓ 95.4 GeV处 2.9σ 超出引起关注
- 利用2018年数据，在更低质量（10-70 GeV）区间 $H \rightarrow \gamma\gamma$ 新共振态寻找 ([CMS-PAS-HIG-24-014](#))
 - ✓ 分析基础继承于[70, 110]GeV $H \rightarrow \gamma\gamma$ ，高能所提供技术支持和分析指导

[详见高能所陶军全报告](#)



多玻色子共振态探寻

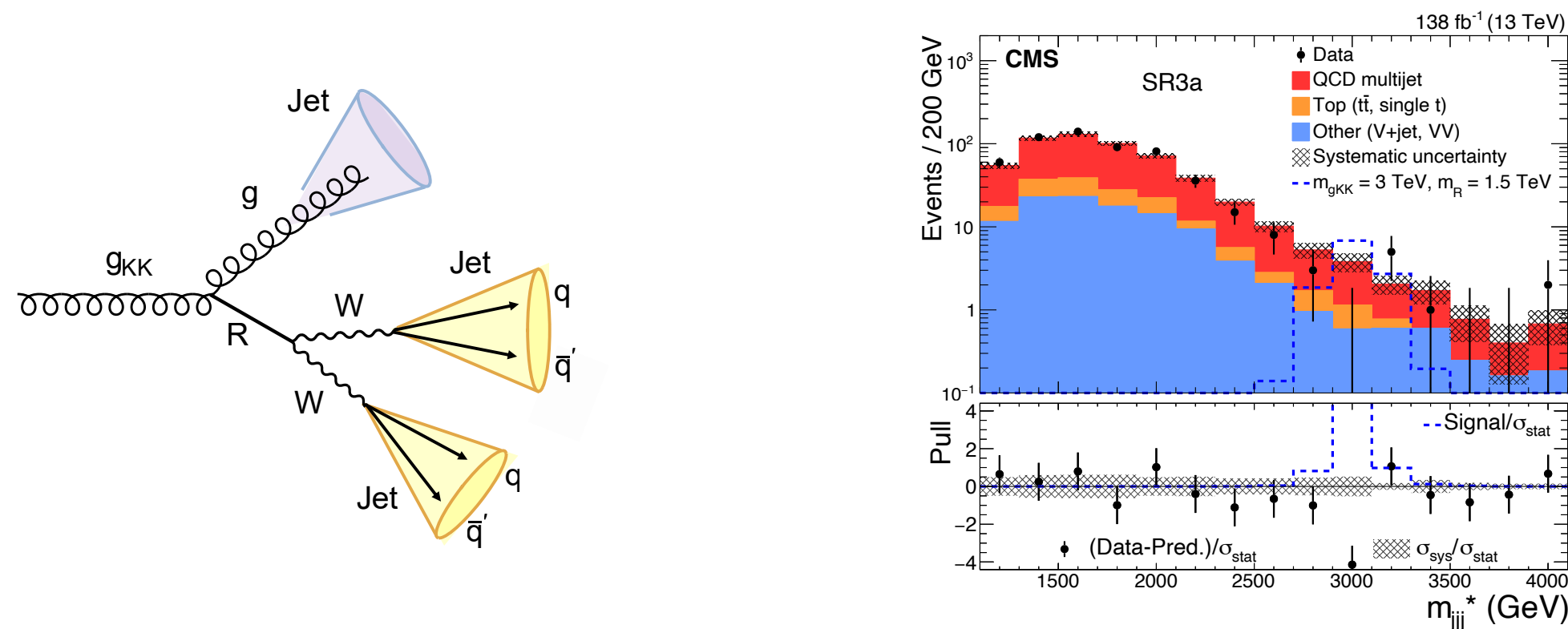
北大

CMS

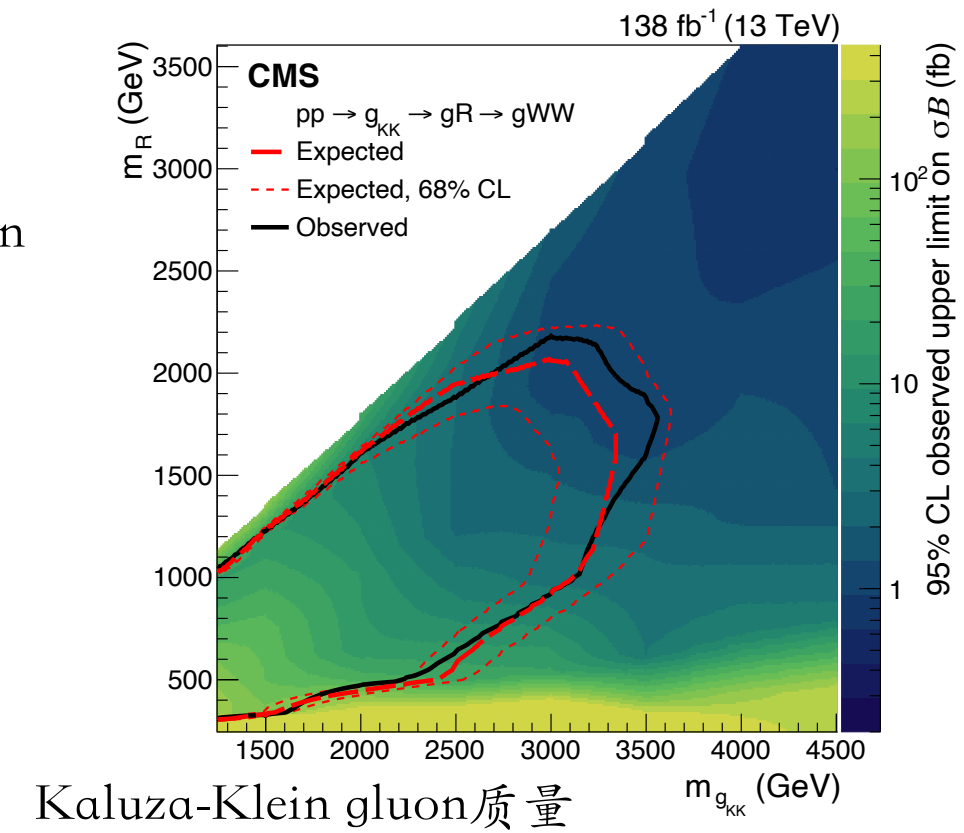
北大提出并开展了一系列多玻色子共振态寻找分析

特色：喷注标记技术的开发及应用

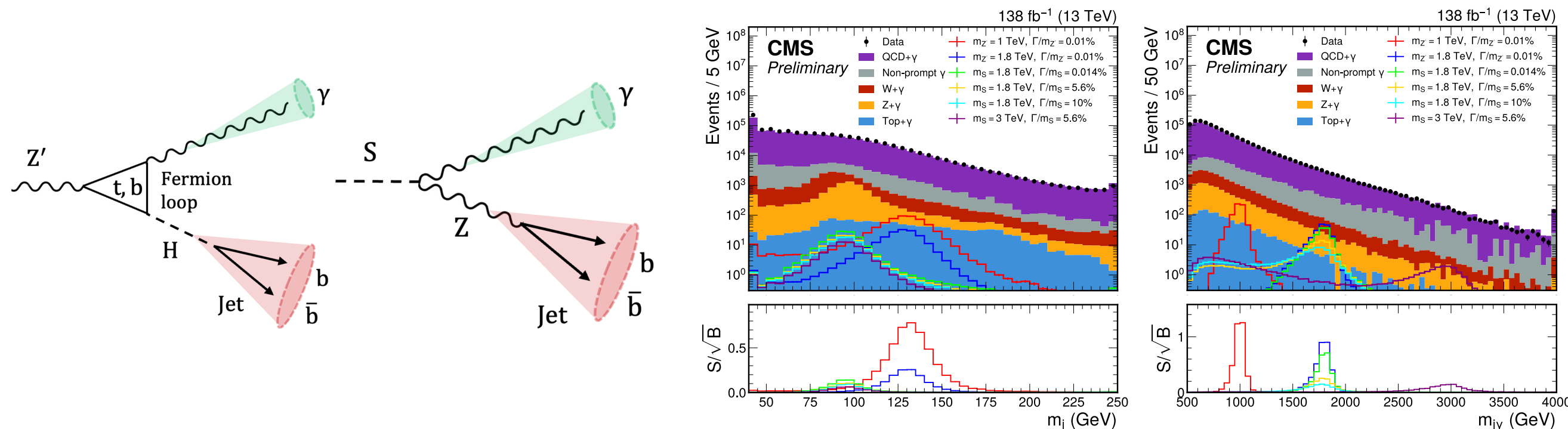
1. 对衰变成胶子 g 和两个 W 玻色子的高质量共振态的搜索 [JHEP 02 \(2025\) 199](#)



scalar radion
质量



2. 探寻重共振态衰变为希格斯玻色子 H 或 Z 玻色子以及一个光子 [CMS-PAS-B2G-24-007](#)



➤ [详见北大付大为报告](#)

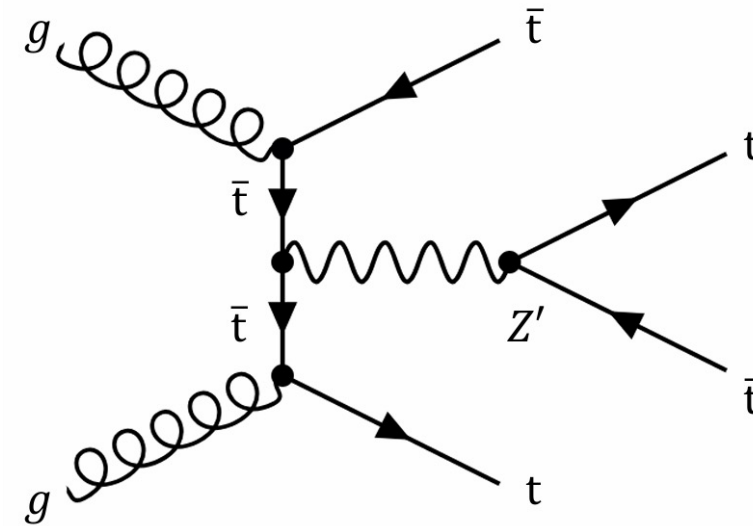
寻找 $t\bar{t}$ 共振态 Z'

高能所

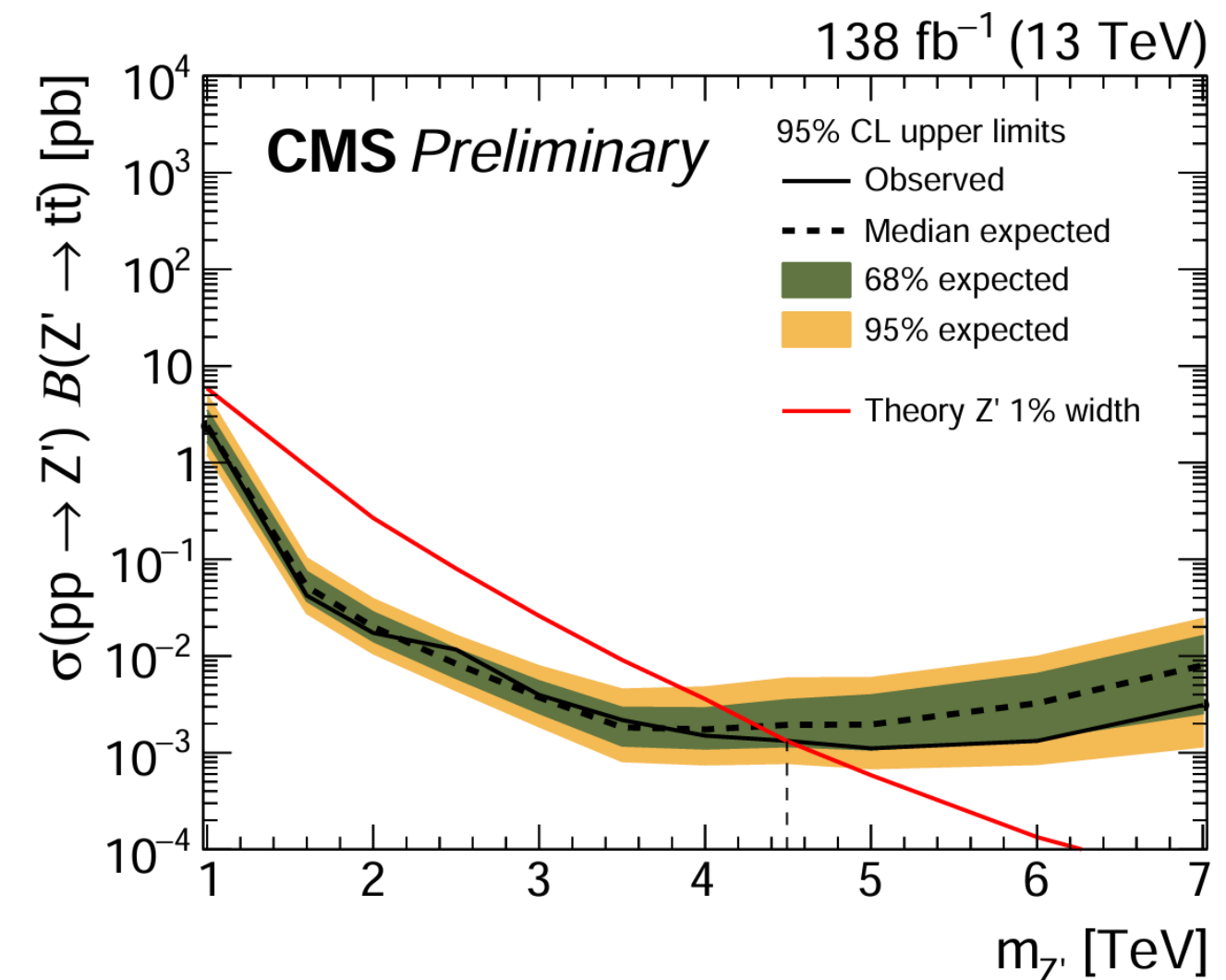
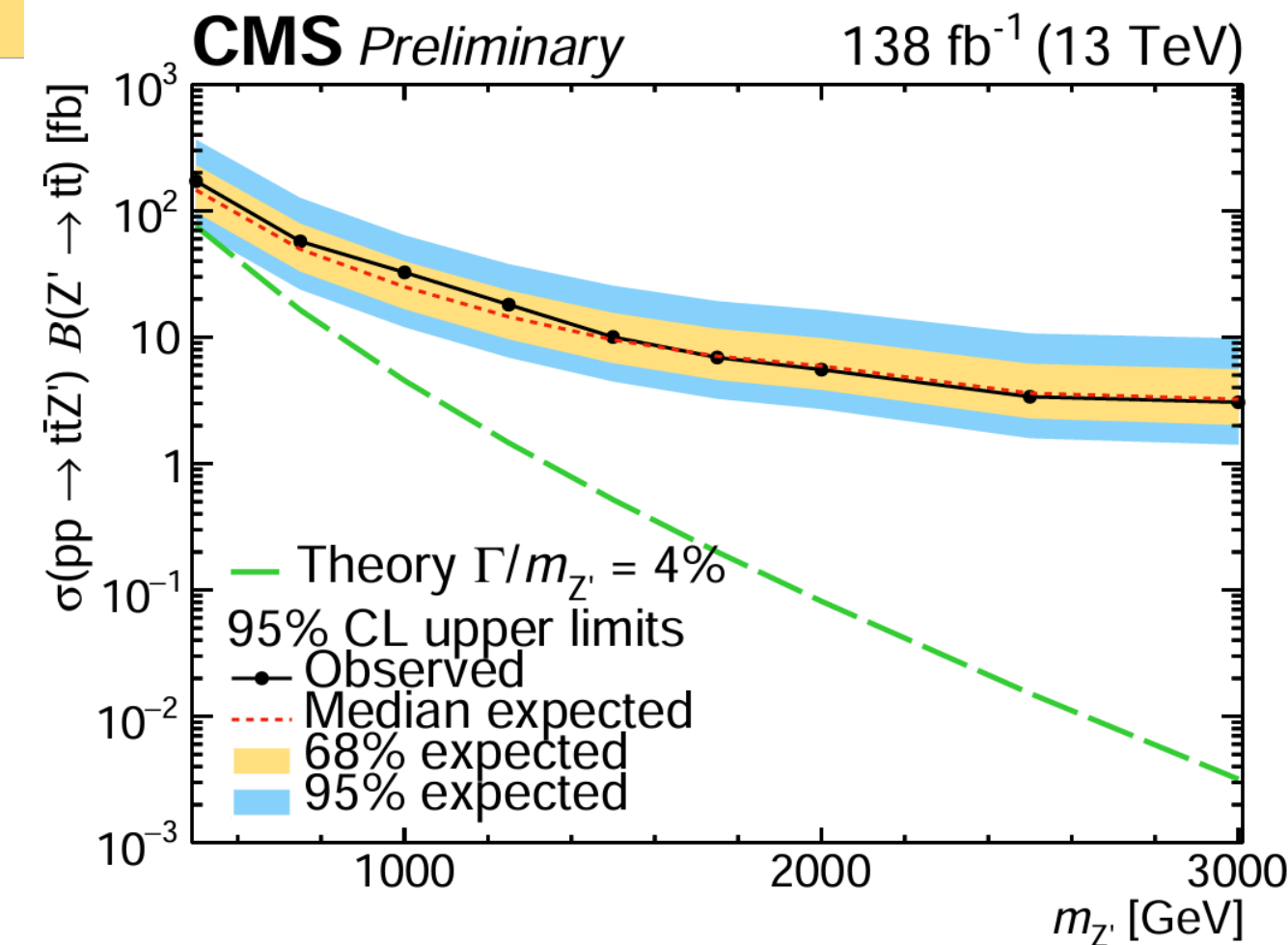
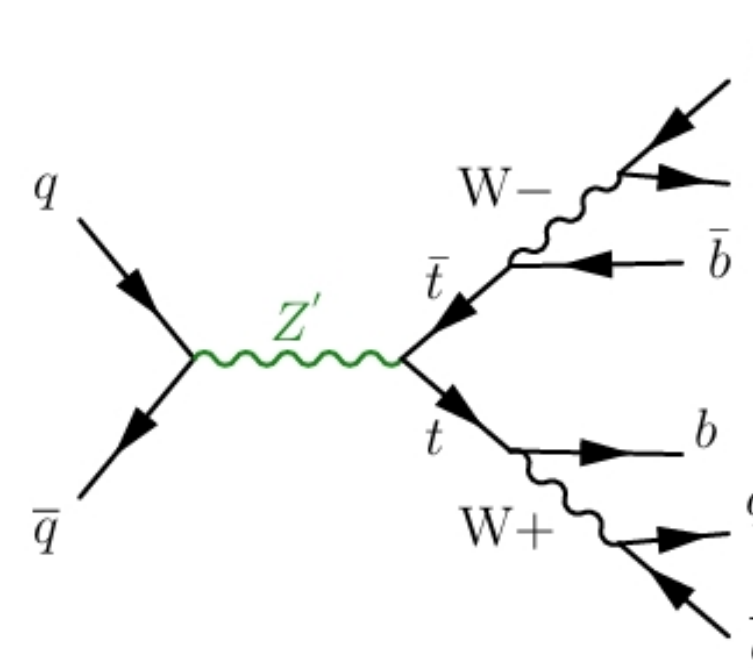
CMS

- 规范玻色子共振态新粒子 Z' 被用来解释物质-反物质不对称性、暗物质等
- 通过单轻子末态寻找 $Z' \rightarrow t\bar{t}$ 伴随顶夸克对的产生: $t\bar{t} + X(t\bar{t})$ (1个轻子+喷注) ([CMS-PAS-B2G-24-009](#), PAS-PUB)
- 在 $Z' \rightarrow t\bar{t}$ 全强子末态分析([CMS-PAS-B2G-24-003](#), PAS-PUB)
- 不同末态进行统计联合测量

[CMS-PAS-B2G-24-009](#)



[CMS-PAS-B2G-24-003](#)



$X \rightarrow HH \rightarrow WW\gamma\gamma$ 双希格斯玻色子共振态探寻

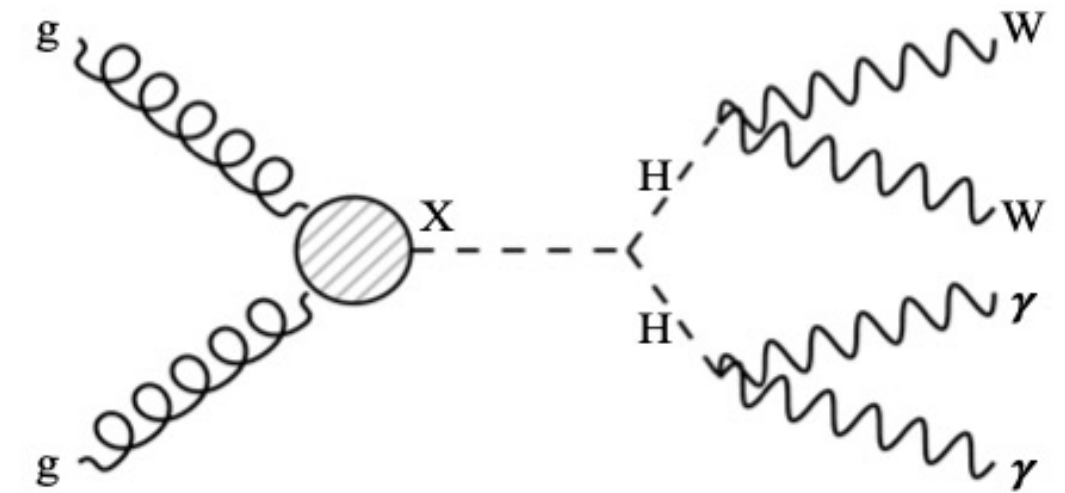
CMS

高能所

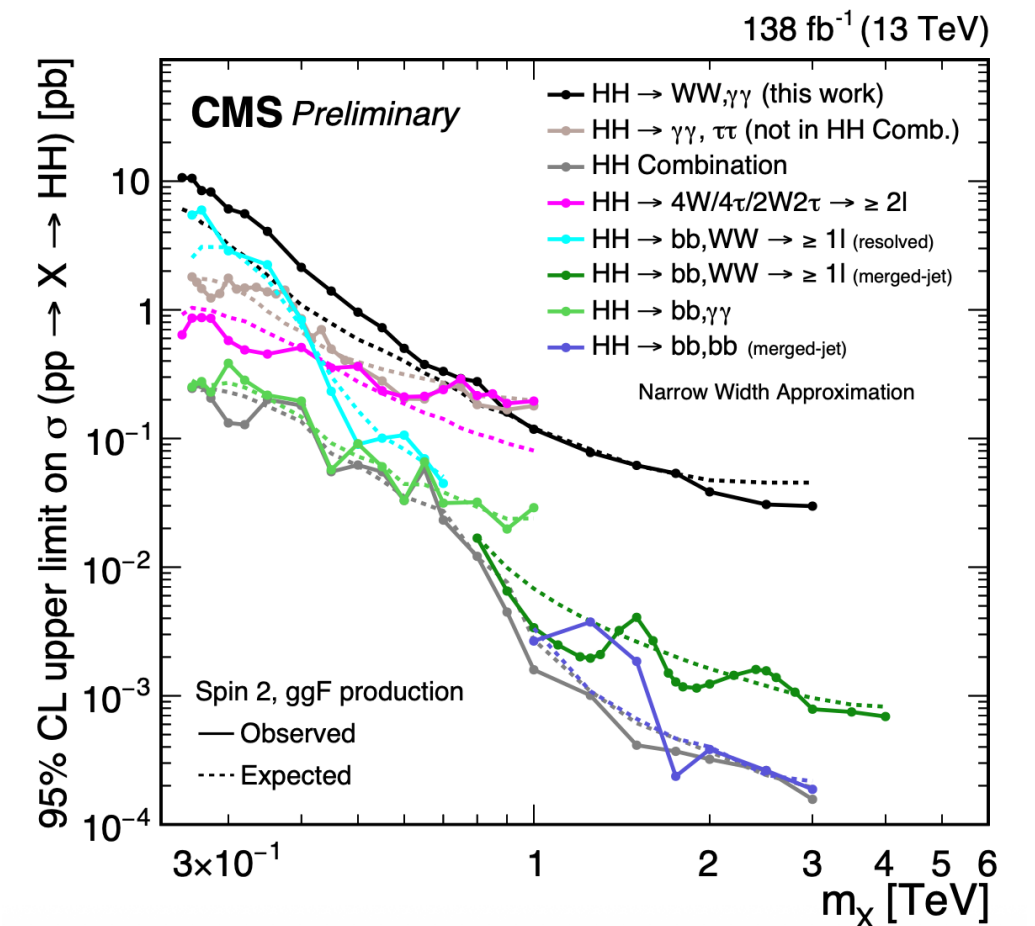
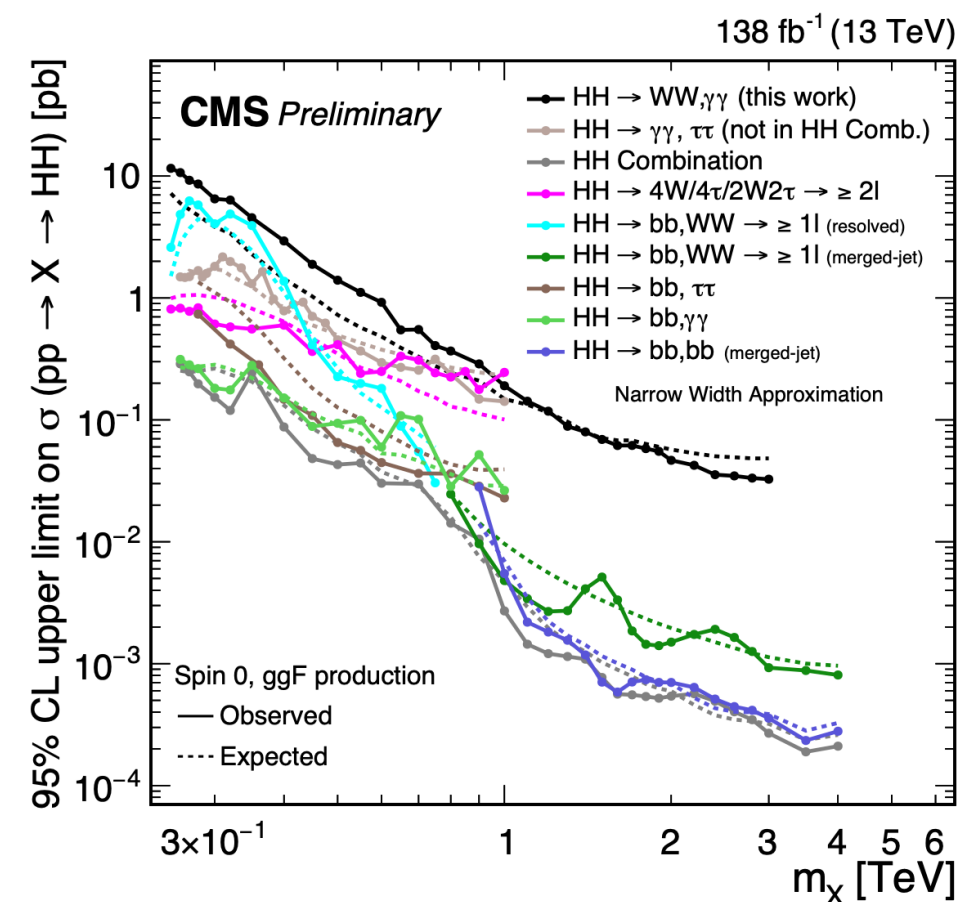
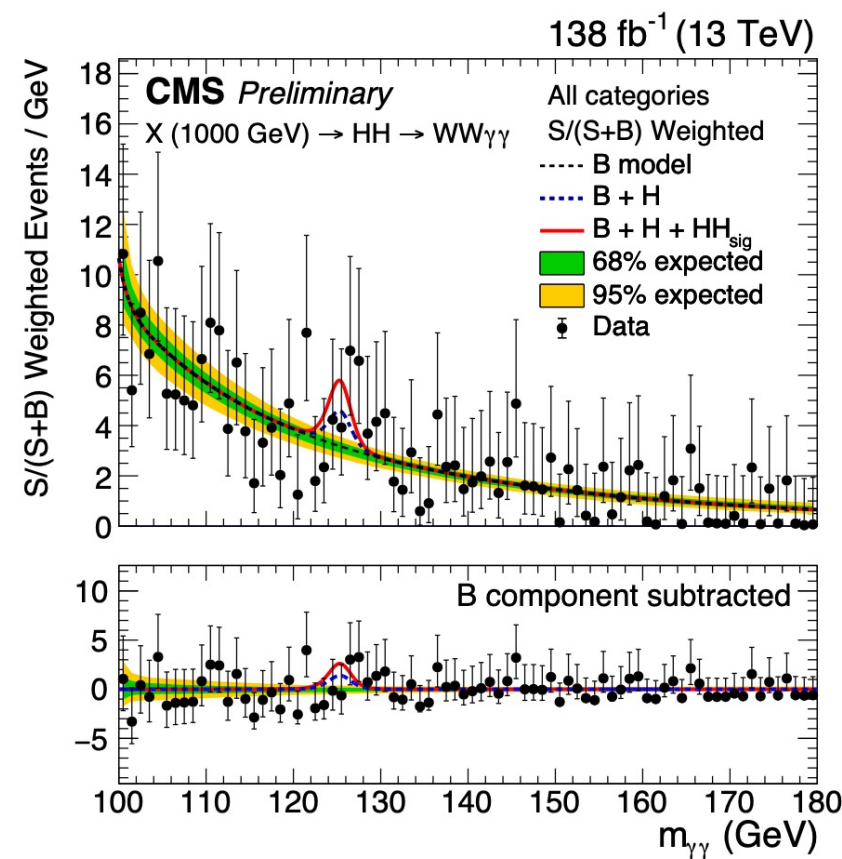
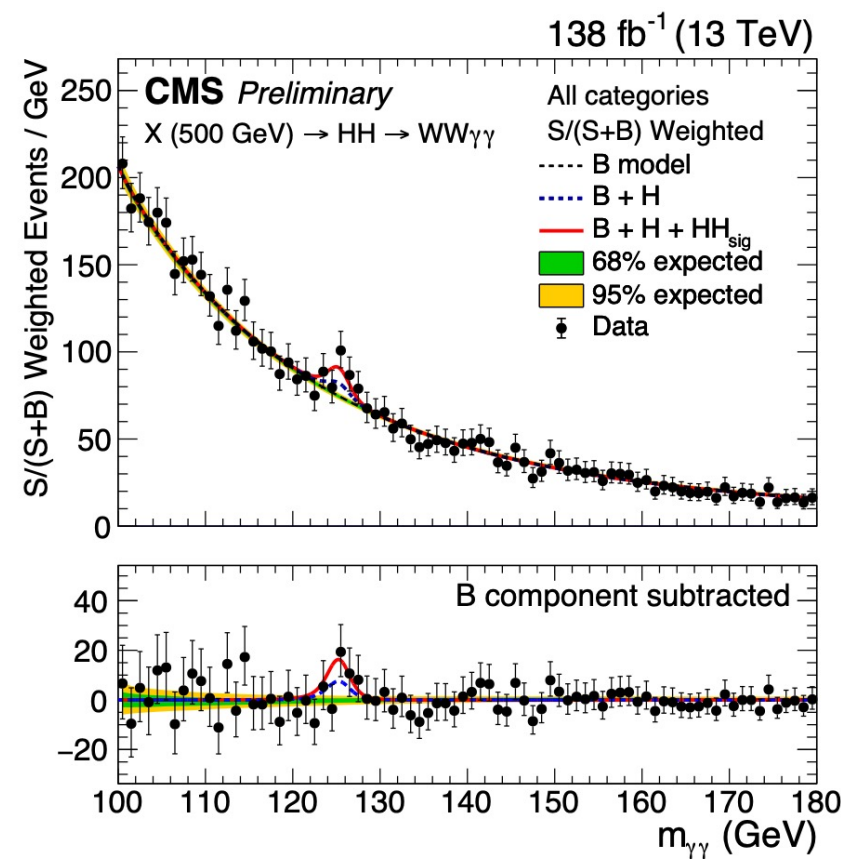
- 诸多超标准模型（比如2HDM, NMSSM等）在TeV能区预测了多个希格斯玻色子或其他新粒子，**双希格斯玻色子衰变道是有效探针之一**

CMS-PAS-B2G-24-010

- $X \rightarrow HH \rightarrow WW\gamma\gamma$ (分支比 $\sim 9.7\%$) : $H \rightarrow WW$ 第二大希格斯玻色子衰变道21.4%， $H \rightarrow \gamma\gamma$ 信号干净、质量分辨率优异
- 本分析考虑 $WW \rightarrow qq\bar{q}\bar{q}$ ， $WW \rightarrow q\bar{q}l\nu$
- 探测 spin-0 和 spin-2 共振态，质量范围：250 GeV - 3 TeV



详见宋绍炜报告





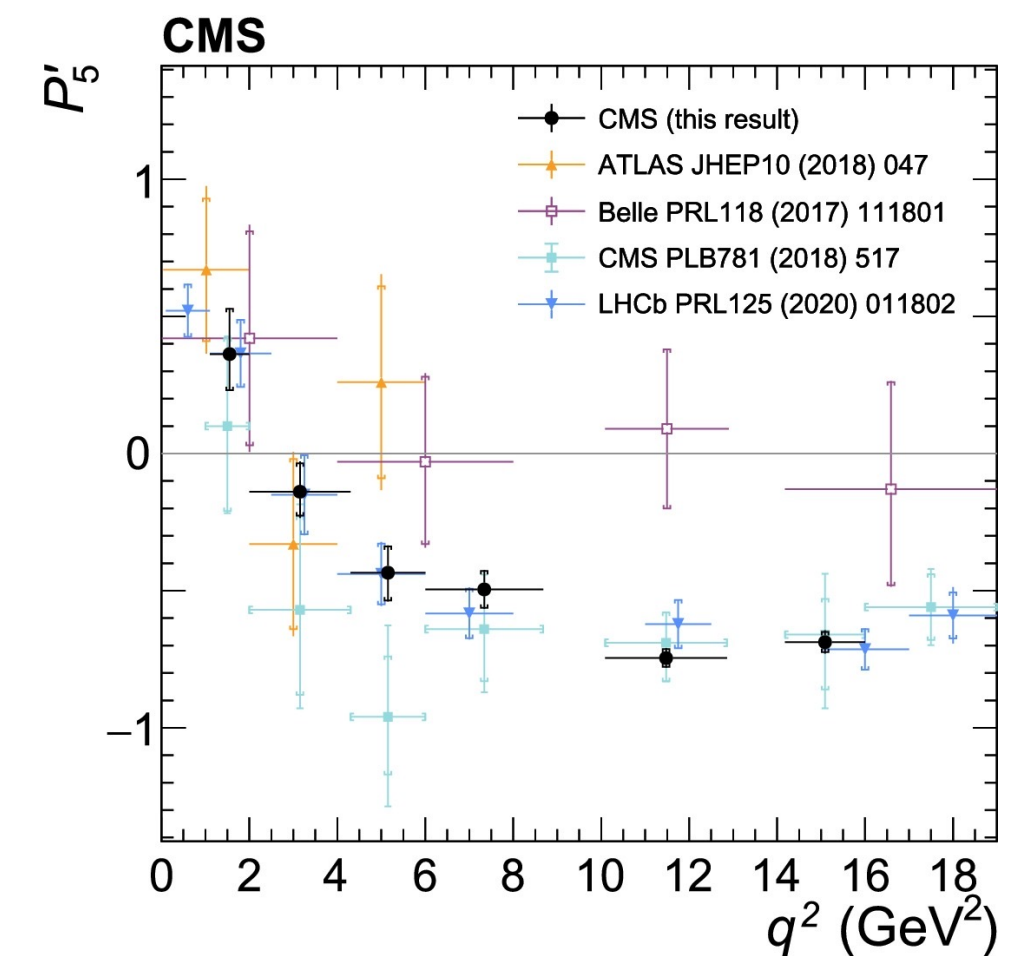
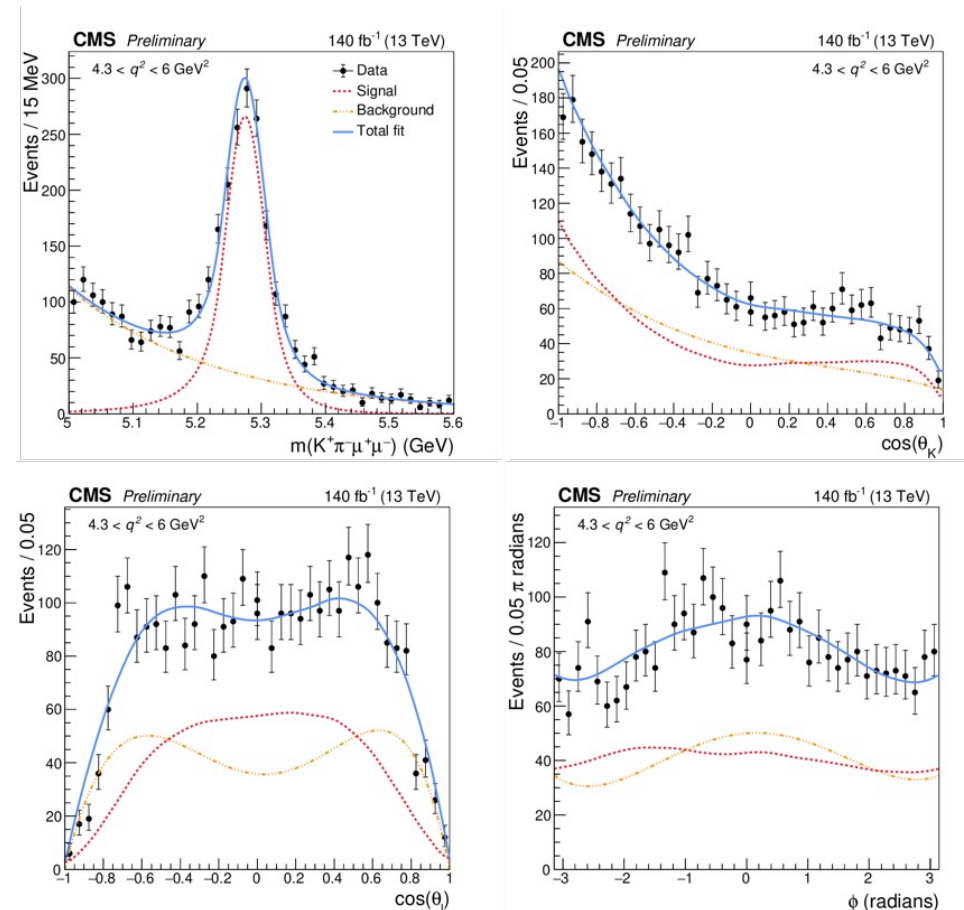
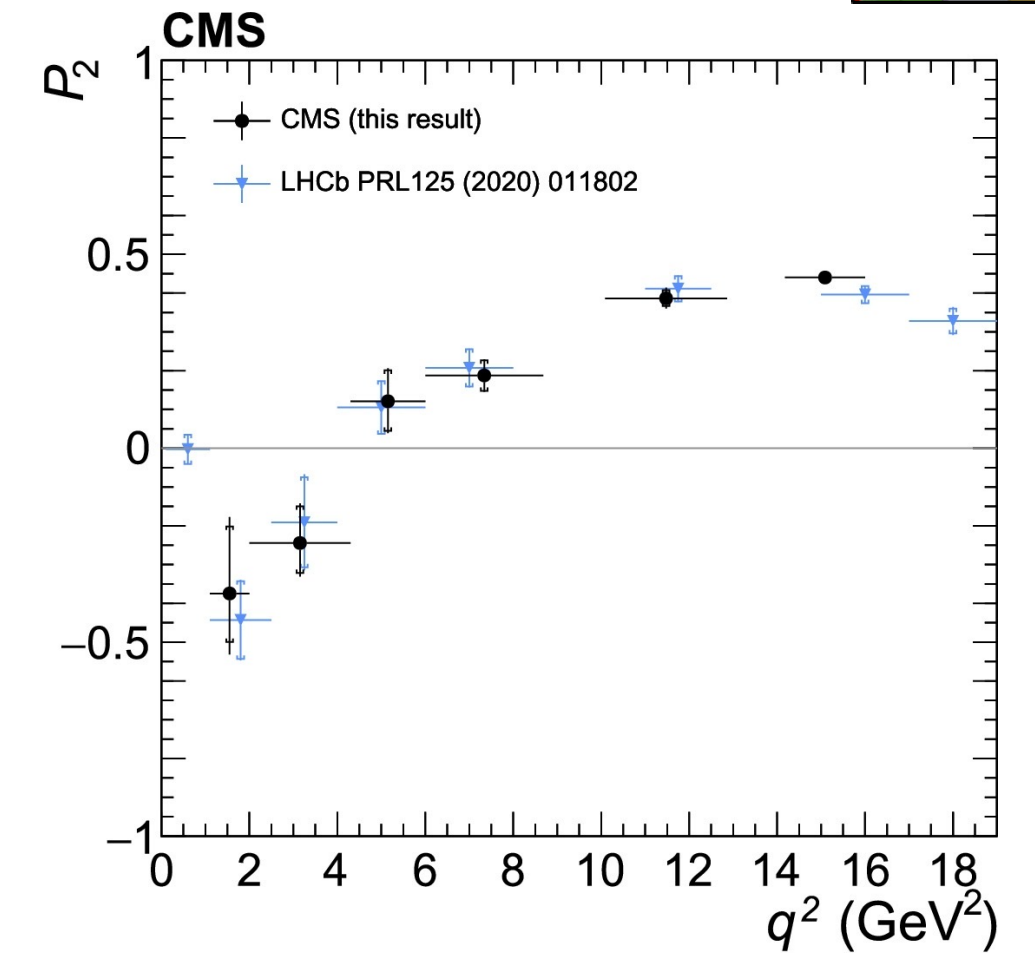
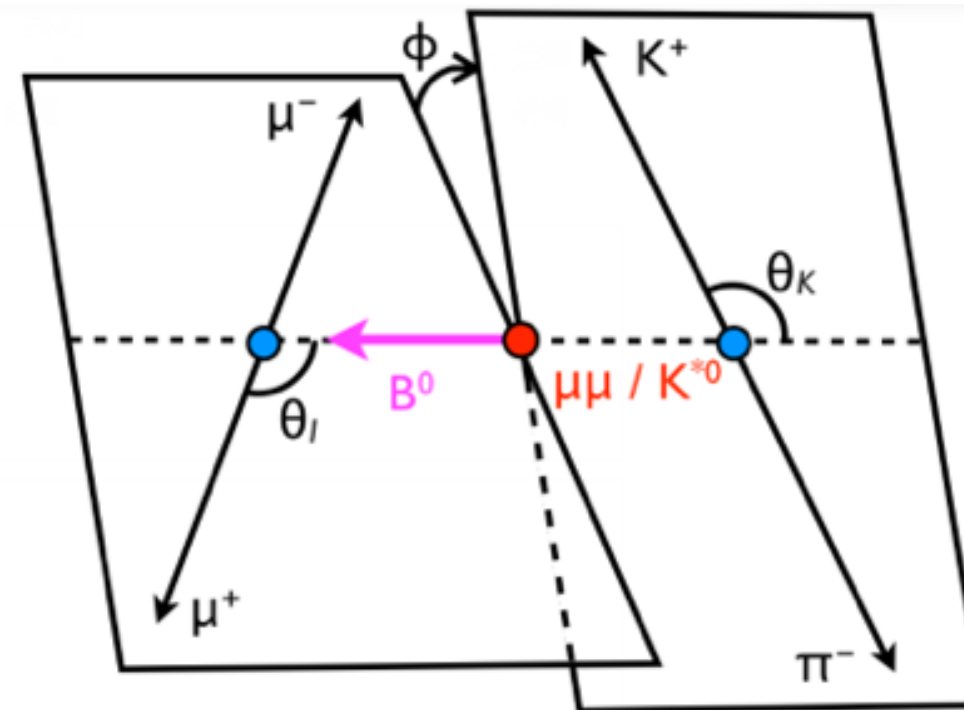
衰变道 $B^0 \rightarrow K^*(892)^0 \mu^+ \mu^-$ 全角度分析

北大



PLB 864 (2025) 139406

- $b \rightarrow sll$ 是味改变的中性流 (FCNC) 过程, 在标准模型中树图水平是禁戒的, 通过更高阶的圈图发生
- 在许多超出标准模型的理论中得到增强: 新的粒子在树图或圈图水平有贡献, 新物理会改变角参数, 衰变率等
- 使用 13 TeV 数据在不同 q^2 区间内, 对 $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$ 衰变道进行全角度分析, 与标准模型理论值对比
- 获得了该衰变过程观测量的最精确测量之一

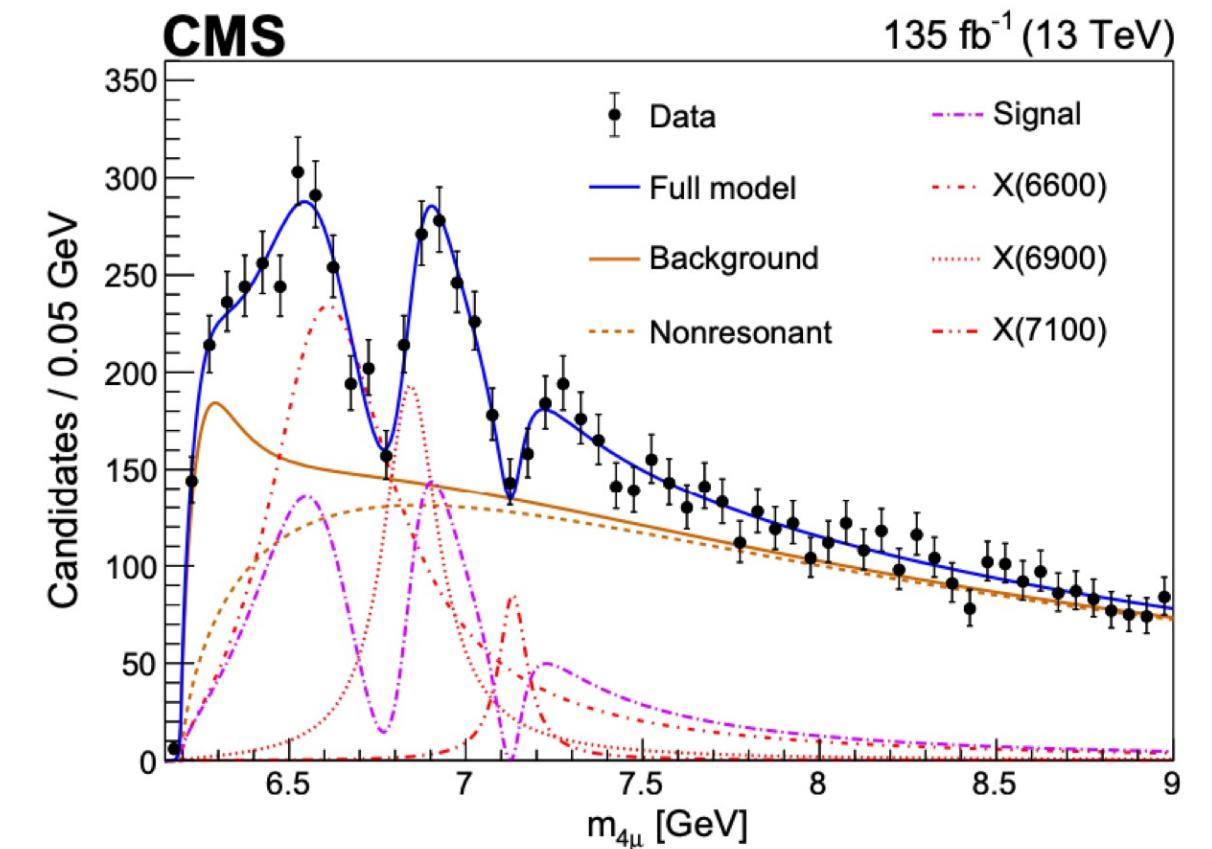


全粲四夸克强子态的自旋宇称分析

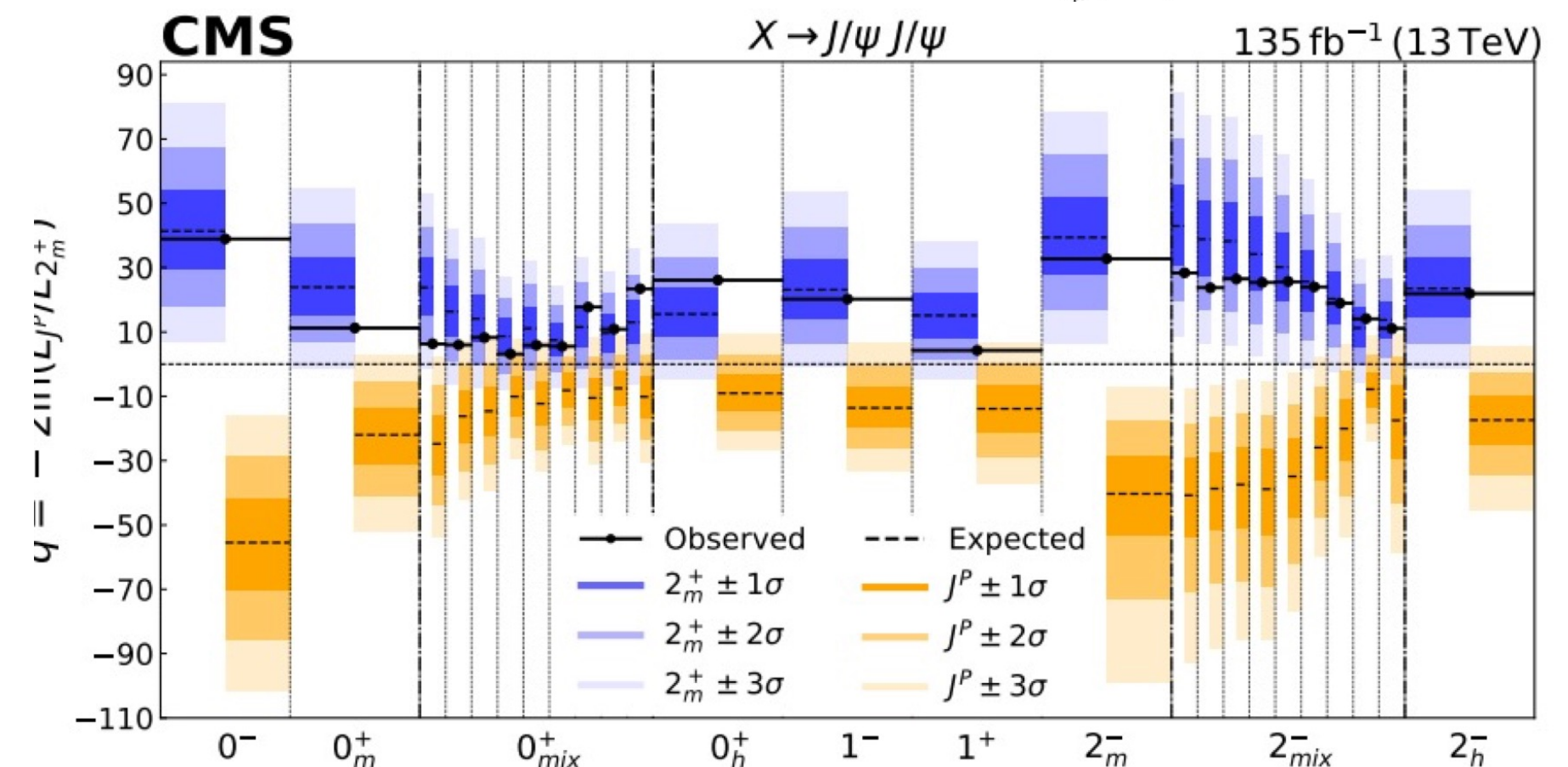
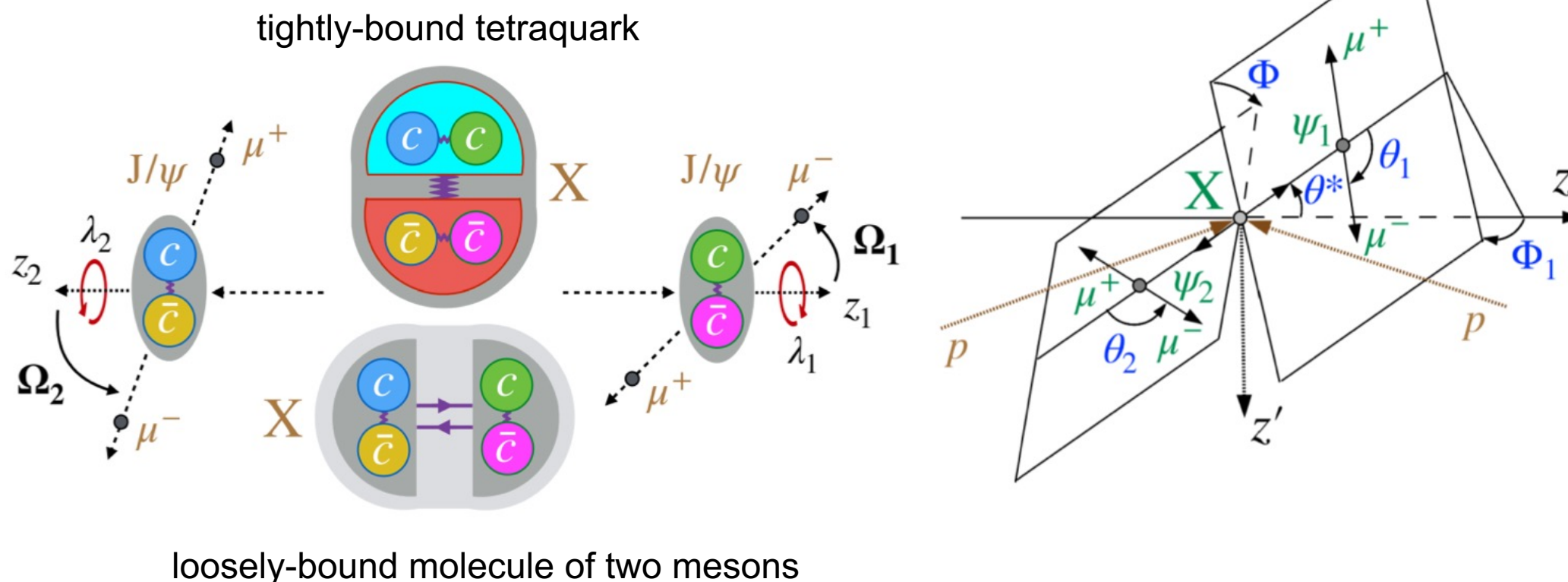
CMS

南师、清华、
河南师范大学

- $J/\psi J/\psi$ 质量谱观测到3个可能的全粲四夸克态 (Phys. Rev. Lett. 132 (2024) 111901 PRL编辑推荐)
- $X(6600)$ (6.5σ) : 观测到新共振态 (等待其他实验的检验)
- $X(7300)$ (4.1σ) : 观测到存在的迹象
- $X(6900)$: 确认了LHCb实验2020年发现 Sci.Bull.65(2020)1983
- 通过模态角度关联测量其自旋宇称: $J^{PC} = 2^{++}$
- [Nature 接收发表](#), [详见王晰宁海报](#)



多种可能的内部结构



全粲四夸克强子态家族的观测

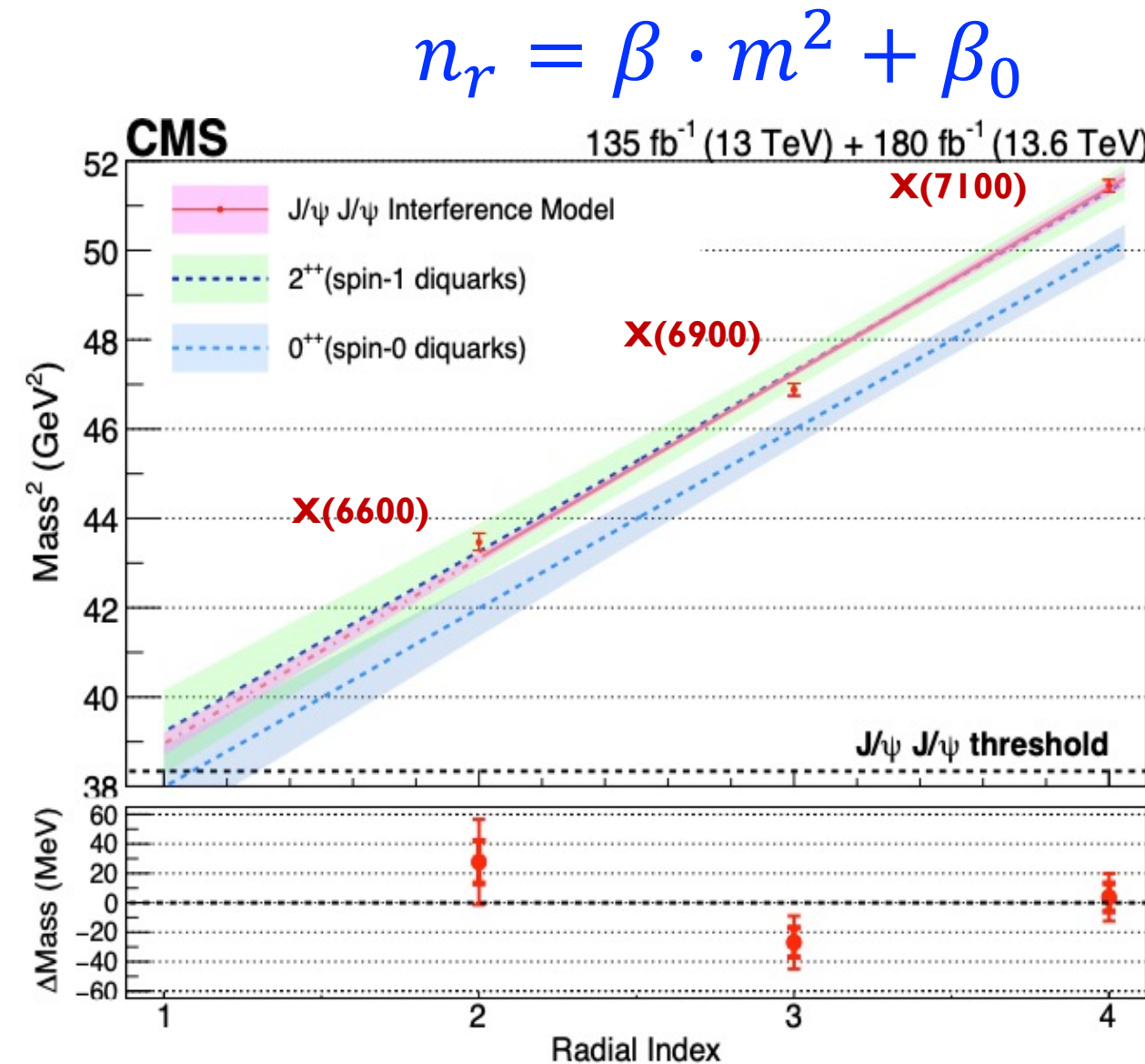
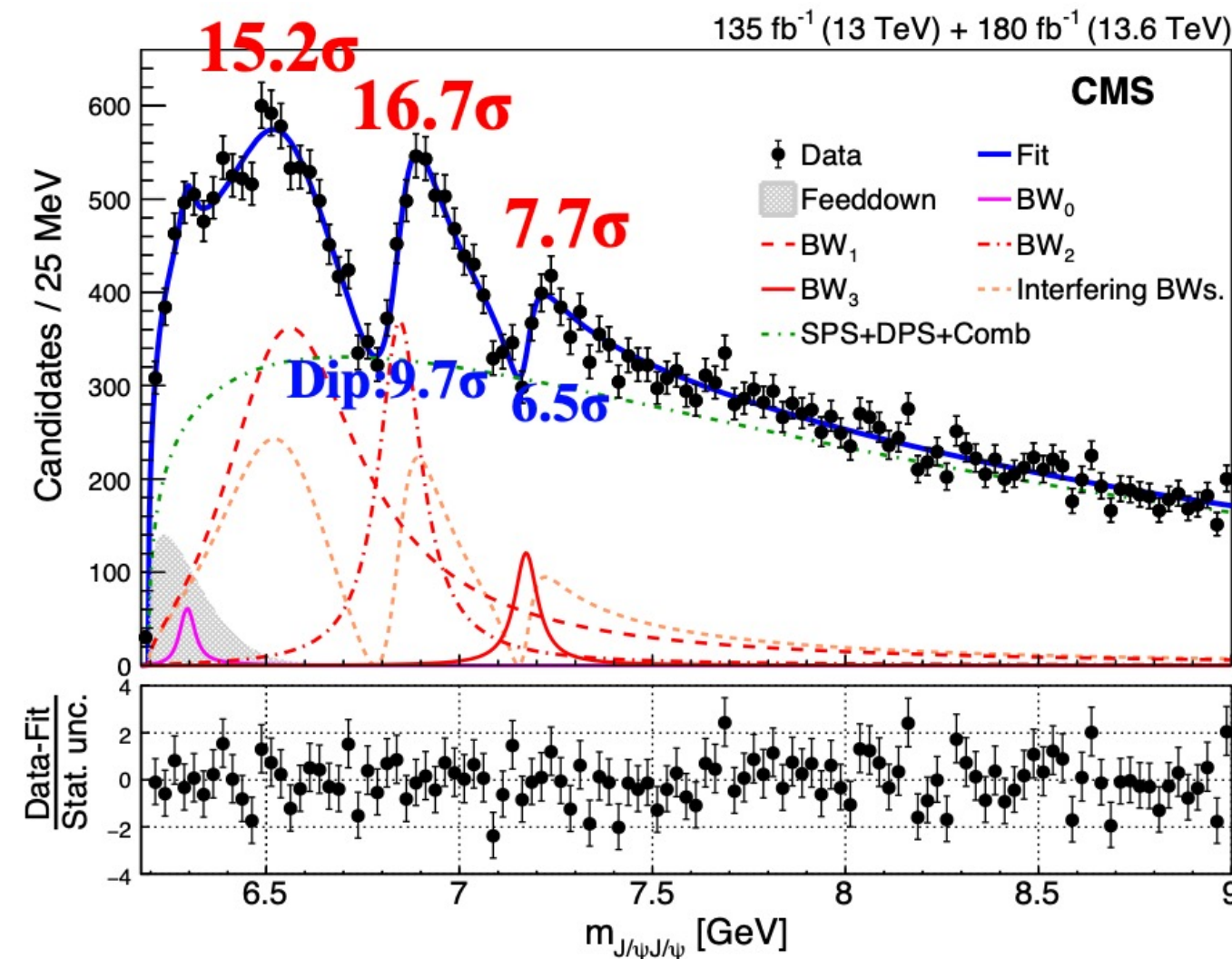
CMS

南师、复旦、清华

[CMS-PAS-BPH-24-003](#)

- $X \rightarrow J/\psi J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$ 道的研究较Phys. Rev. Lett. 132 (2024) 111901显著提高数据量：3.6倍多 $J/\psi J/\psi$ 事例：
- 质量和宽度测量误差减小3倍
- $J/\psi J/\psi$ 质量谱与相互干涉的X (6600), X (6900) 和 X (7100)全粲四夸克态符合，首次 $>5\sigma$ 显著度同时观测到
- 干涉效应显著：相同的自旋宇称态，有可能是全粲四夸克强子态家族
- 详见复旦Yilin Zhou报告

Standard Mesons	Exotic Mesons: Tetracharm			
	Molecule	Diquark	Compact (Amorphous)	Hybrid



与 *Regge trajectory* 符合良好
更接近自旋为1的diquarks

[Nucl. Phys. B, 966:115393, 2021, Zhu](#)

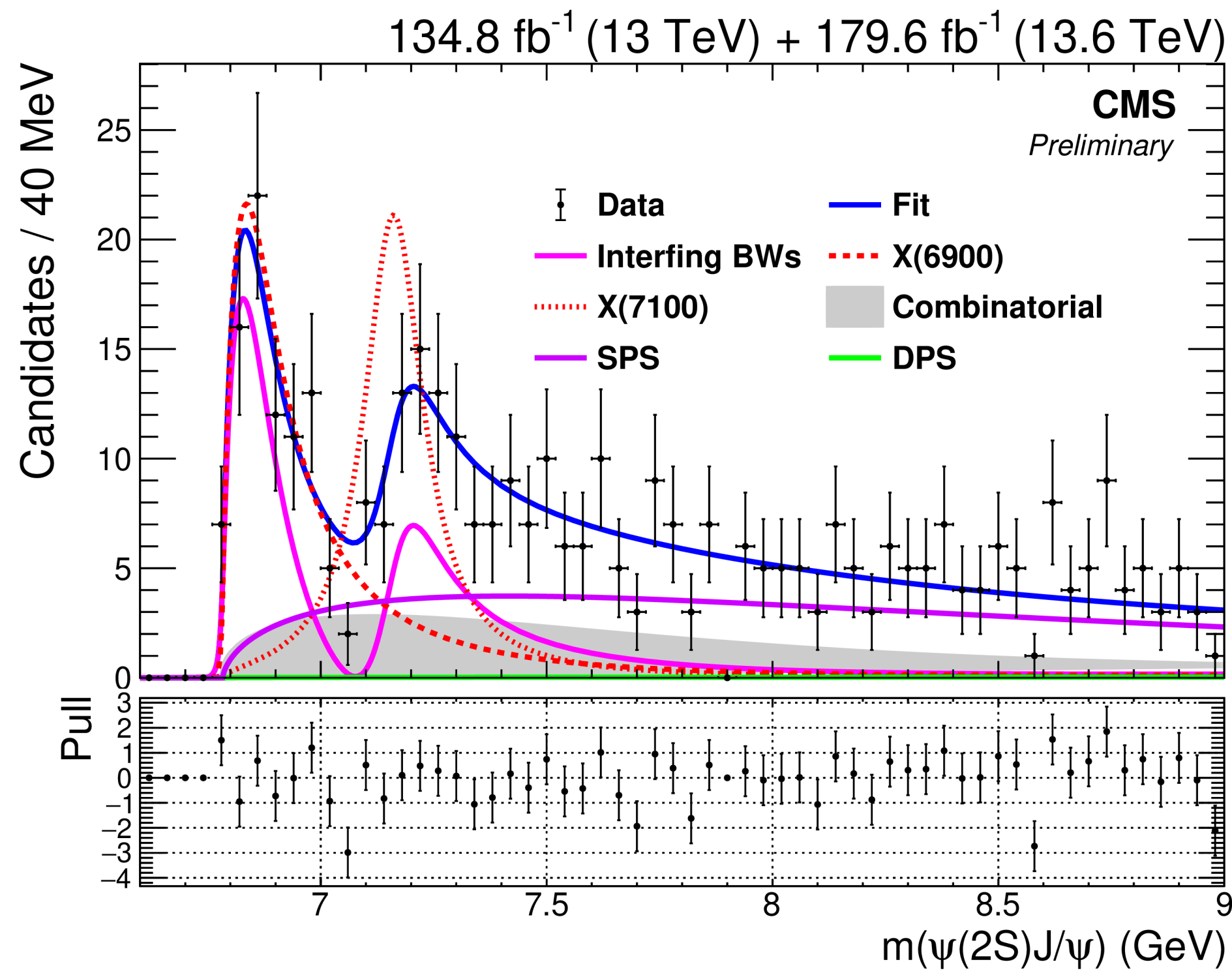
m^2 : mass square

$n_r = n - 1$, n is radial quantum number

2, 3, 4 refers X(6600), X(6900), X(7100)

- $X(6900)$ 和 $X(7100)$ 的信号显著度： 8.1σ 、 4.3σ

CMS-PAS-BPH-22-004



Fit	Sample	Interf.		X(6600)	X(6900)	X(7100)
f_{i23}	$J/\psi\psi(2S)$	BW_2, BW_3	$m :$	—	$6876^{+46+110}_{-29-110}$	7169^{+26+74}_{-52-70}
			$\Gamma :$	—	$253^{+290+120}_{-100-120}$	$154^{+110+140}_{-82-160}$
$f_{JJ} [1]$	$J/\psi J/\psi$	BW_1, BW_2, BW_3	$m :$	6638^{+43+16}_{-38-31}	6847^{+44+48}_{-28-20}	7134^{+48+41}_{-25-15}
			$\Gamma :$	$440^{+230+110}_{-200-240}$	191^{+66+25}_{-49-17}	97^{+40+29}_{-29-26}

Dominant sources	$M_{X(6900)}$	$\Gamma_{X(6900)}$	$M_{X(7100)}$	$\Gamma_{X(7100)}$
Signal shape	± 29	± 79	± 22	± 131
NRSPS shape	± 14	± 54	± 14	± 29
Combinatorial background shape	± 15	± 51	± 15	± 20
Mass resolution	± 5	± 7	± 5	± 9
Efficiency	± 7	± 27	± 7	± 10
Add X(6600) peak	± 104	± 14	± 61	± 31
Fitter bias	$^{+9}_{-11}$	$^{+43}_{-37}$	$^{+29}_{-14}$	$^0_{-80}$
Total	$+110$ -110	$+120$ -120	$+74$ -70	$+140$ -160

相对论重离子碰撞物理



OO/NeNe碰撞集体流

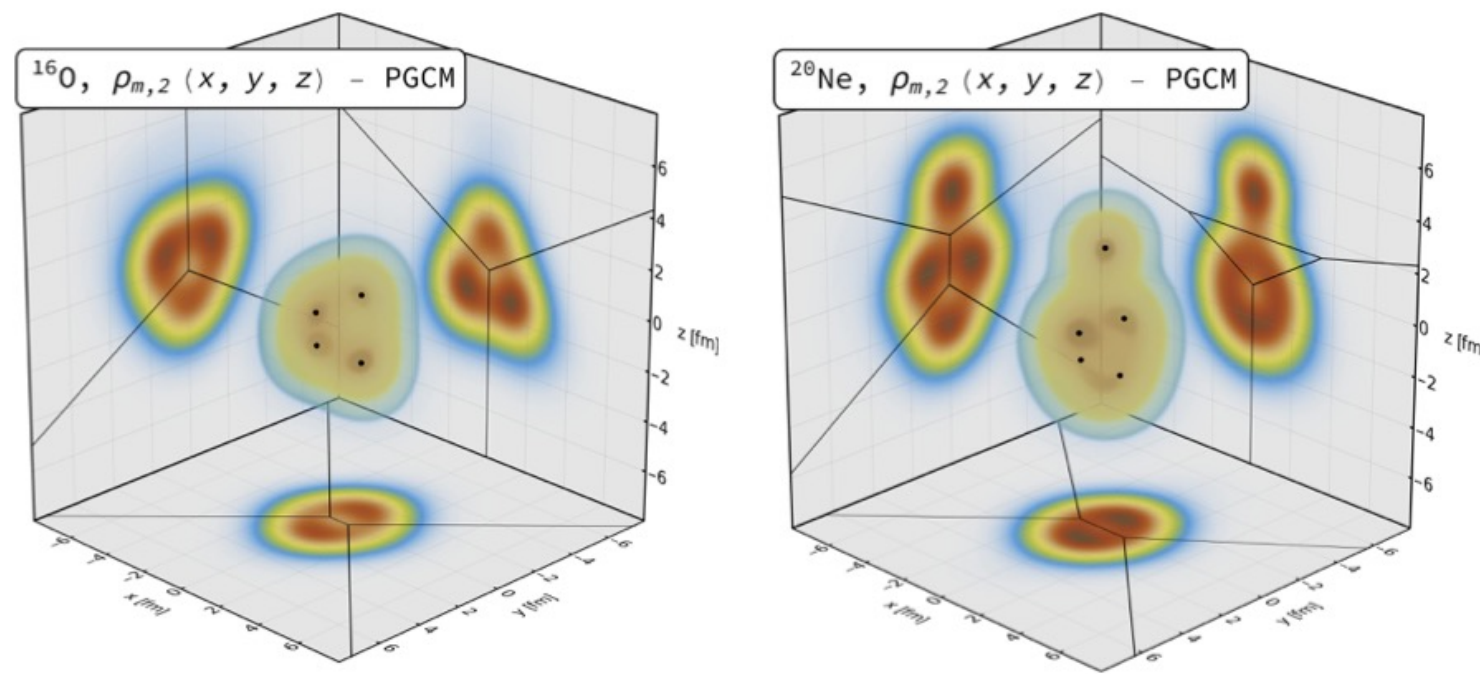
CMS

- 在 5.36 TeV 质心系能量氧核-氧核和氖核-氖碰撞中首次测量集体流 $v_2\{2\}$, $v_3\{2\}$, $v_2\{4\}$ 以及比例，观测氧和氖核可能的形变效应

- 提交到PRL ([arXiv:2510.02580](https://arxiv.org/abs/2510.02580))

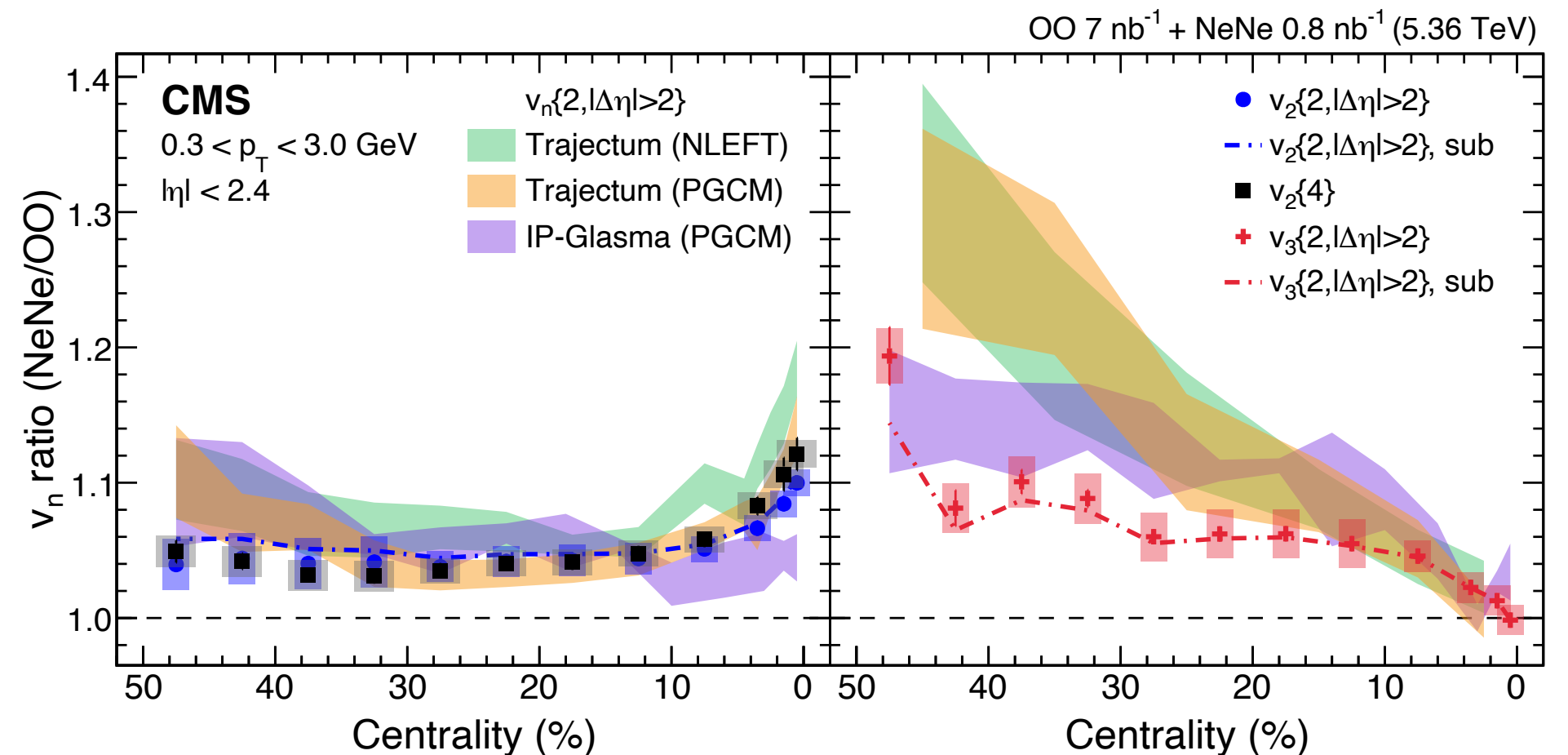
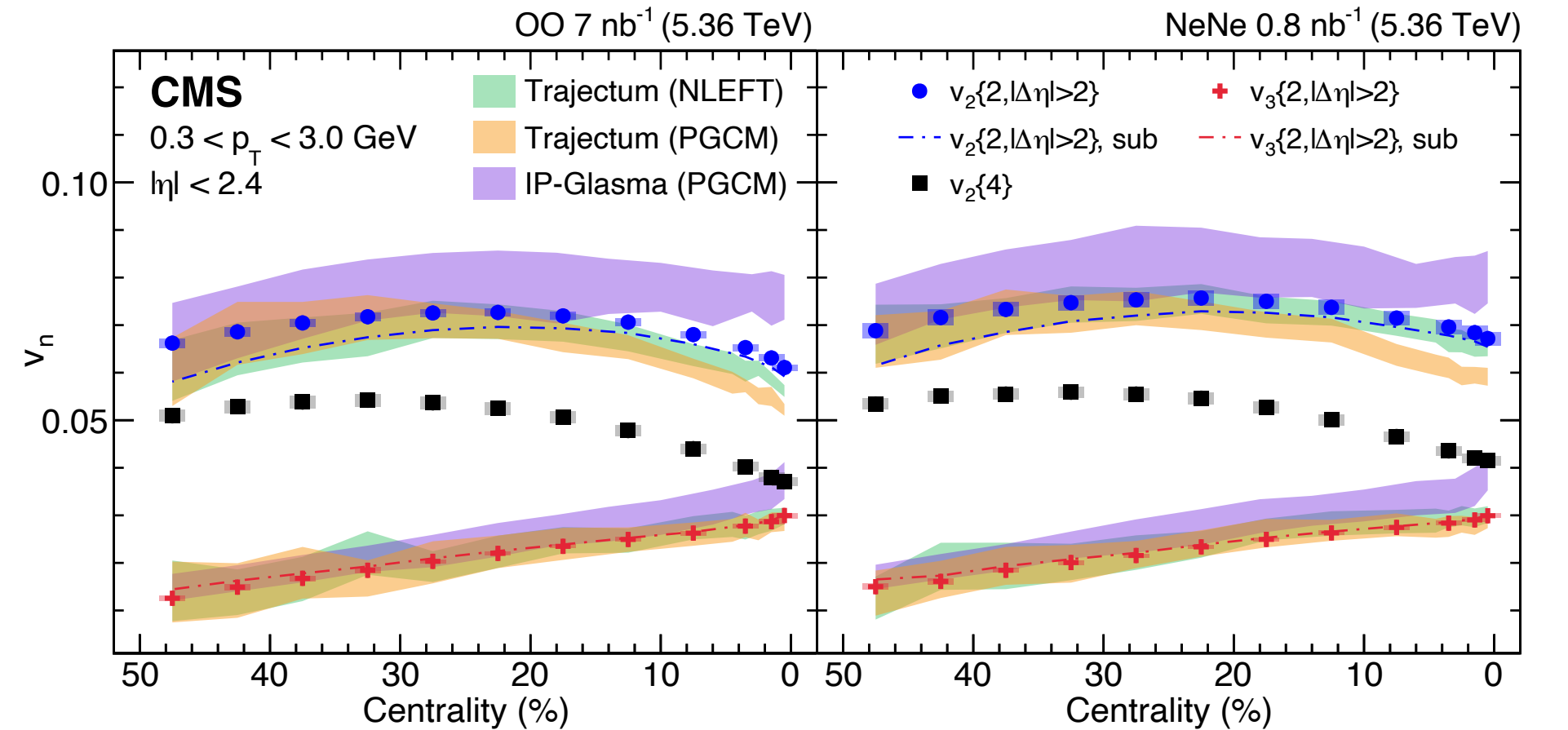
- 详见复旦彭佳腾报告

ab initio 计算预言氧核与氖核的形变



[PRL 135 \(2025\) 012302](https://arxiv.org/abs/2510.02580)

山东大学、复旦大学

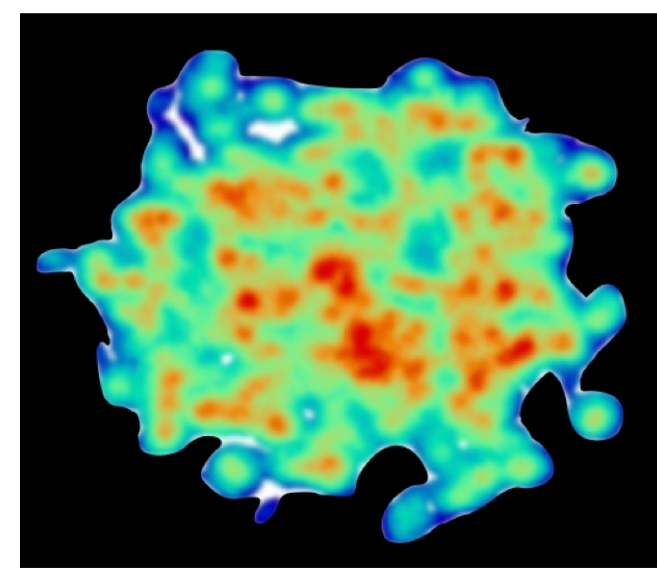
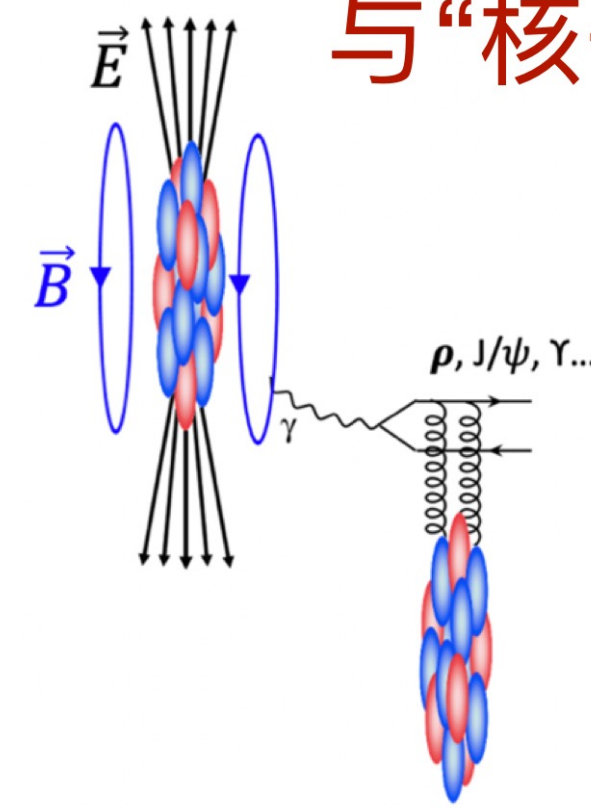


利用非相干光致产生J/ψ研究原子核内胶子涨落

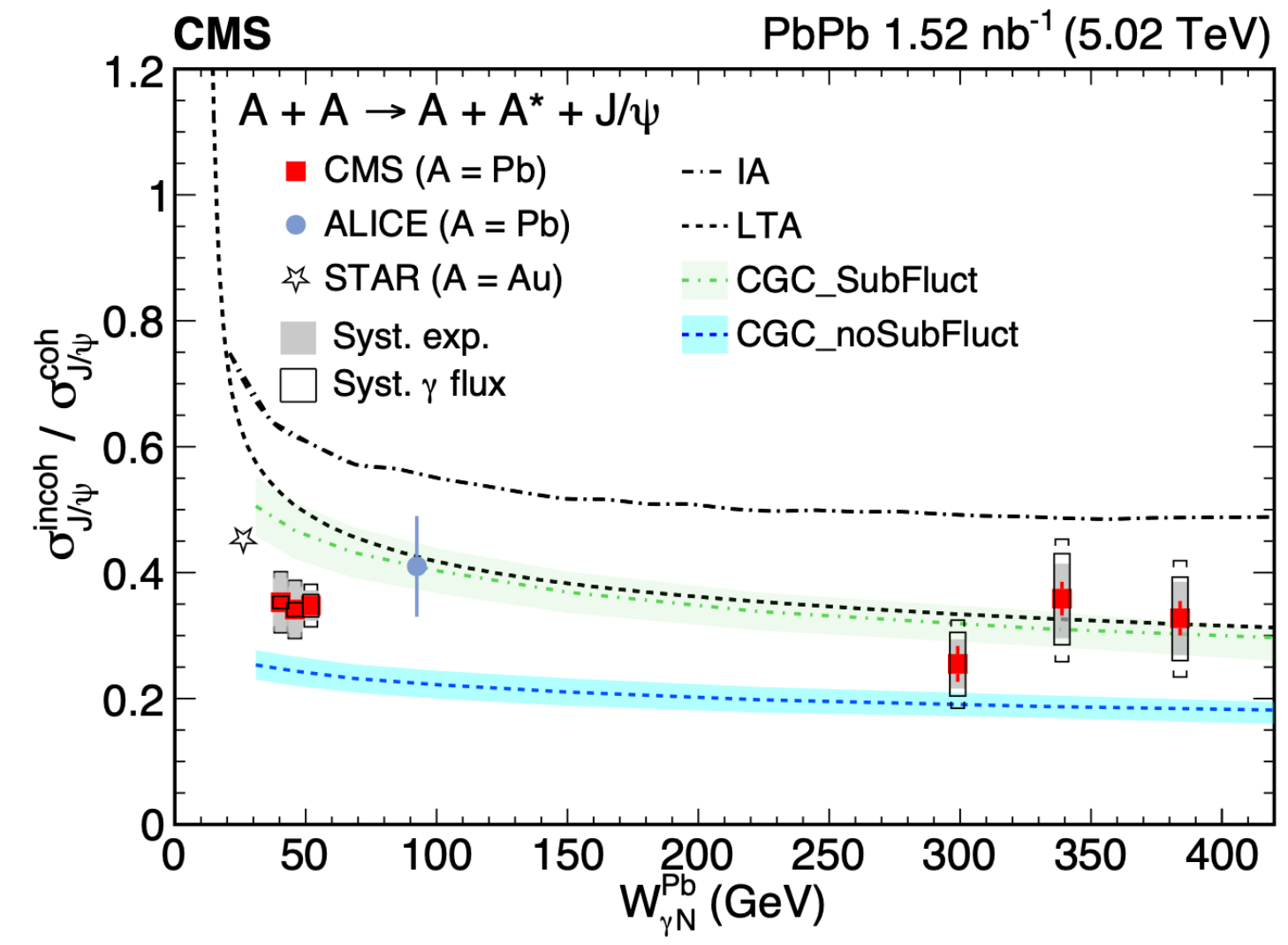
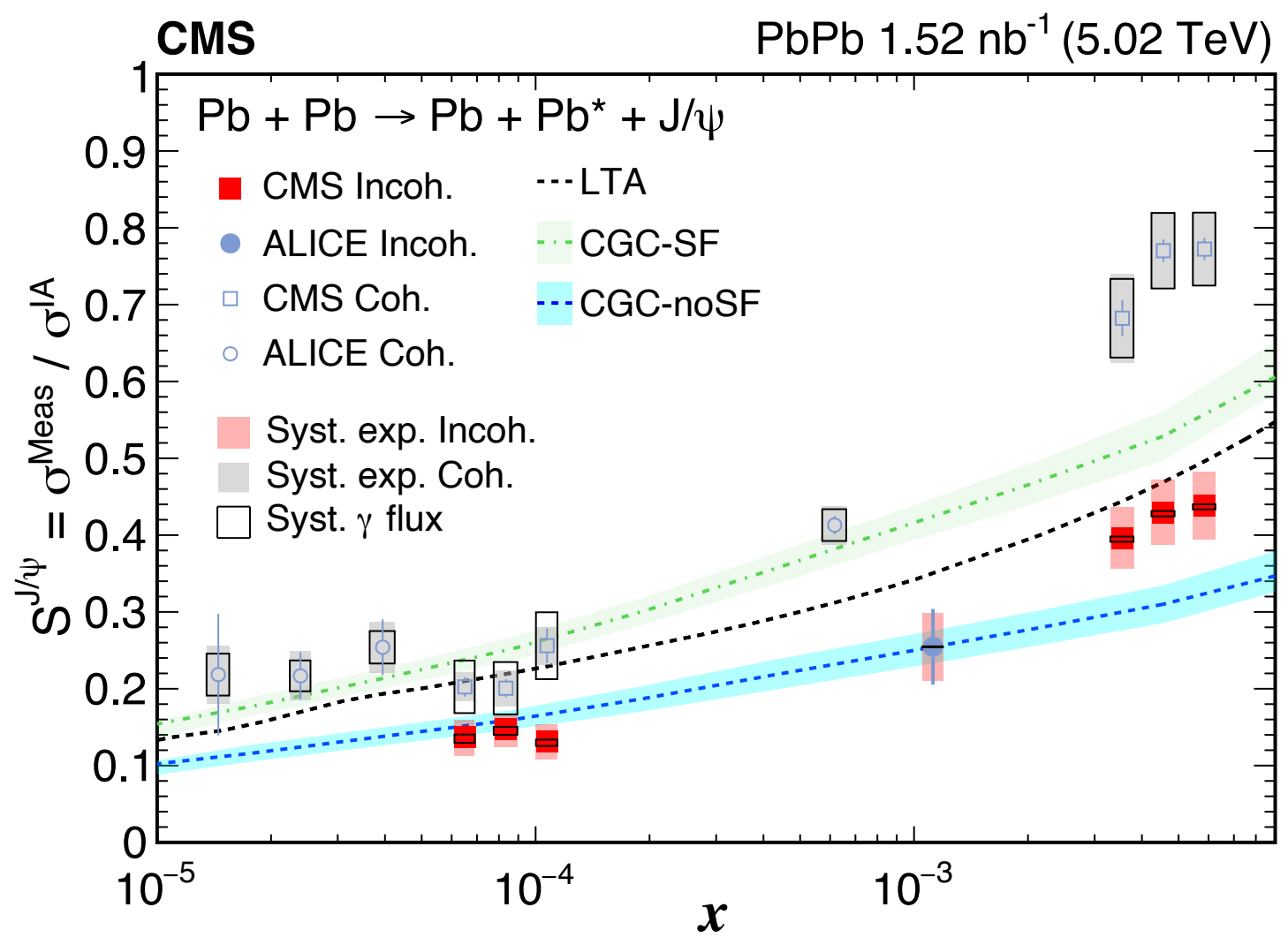


华南师范大学
与“核子”作用、核碎裂

- 首次观察到非相干光致产生J/ψ截面的能量依赖性
- 非相干光致产生J/ψ与相干光致产生J/ψ的比值无明显能量依赖性
- 在大x（低能量）区间，非相干光致产生J/ψ比相干光致产生J/ψ压低更大
- 在小x（高能量）区间，非相干光致产生J/ψ与相干光致产生J/ψ具有相当的压低程度
- [Phys. Rev. Lett. 135 \(2025\) 112301](#) 编辑推荐
- [详见华南师范叶早晨报告](#)



压低程度

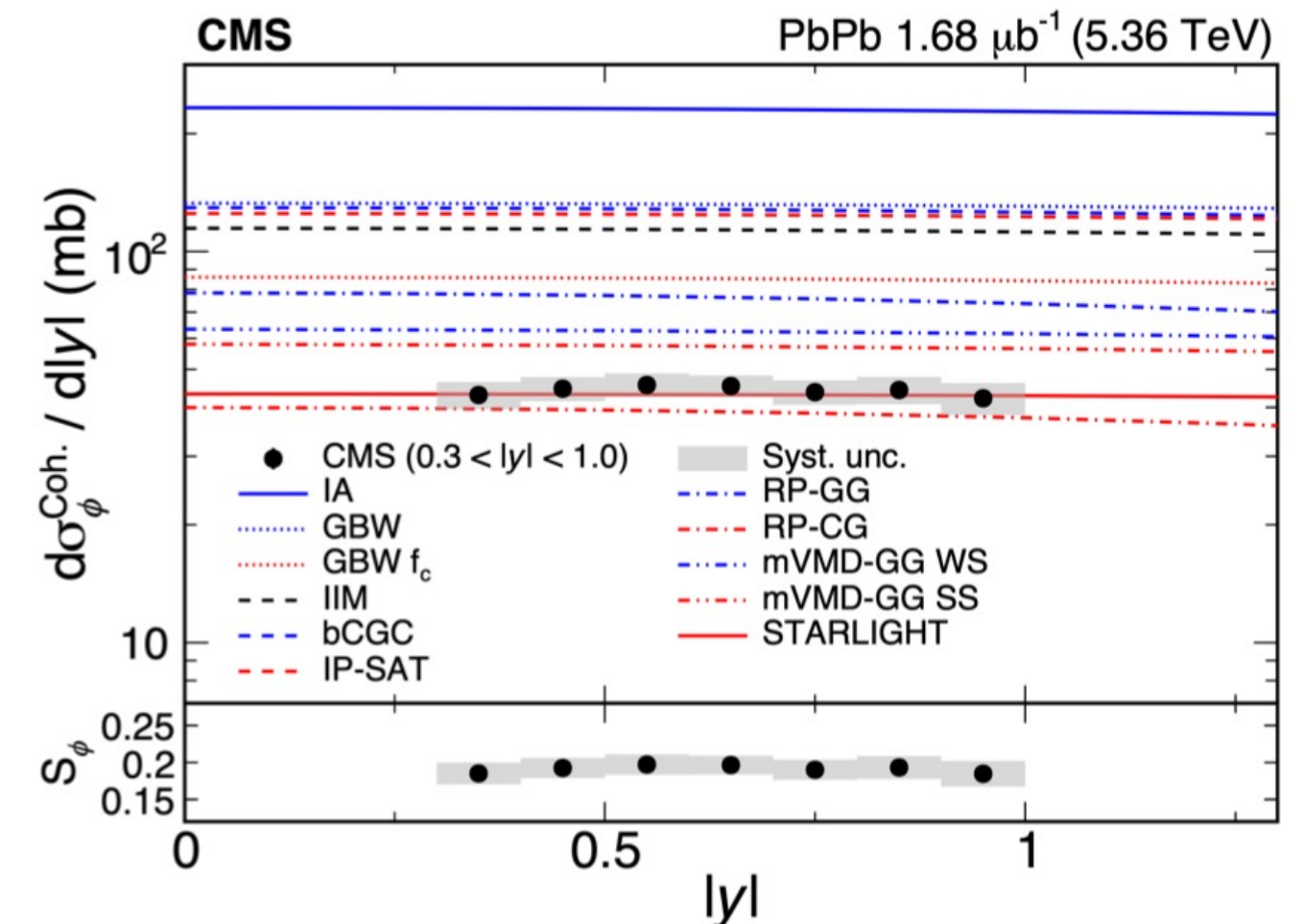
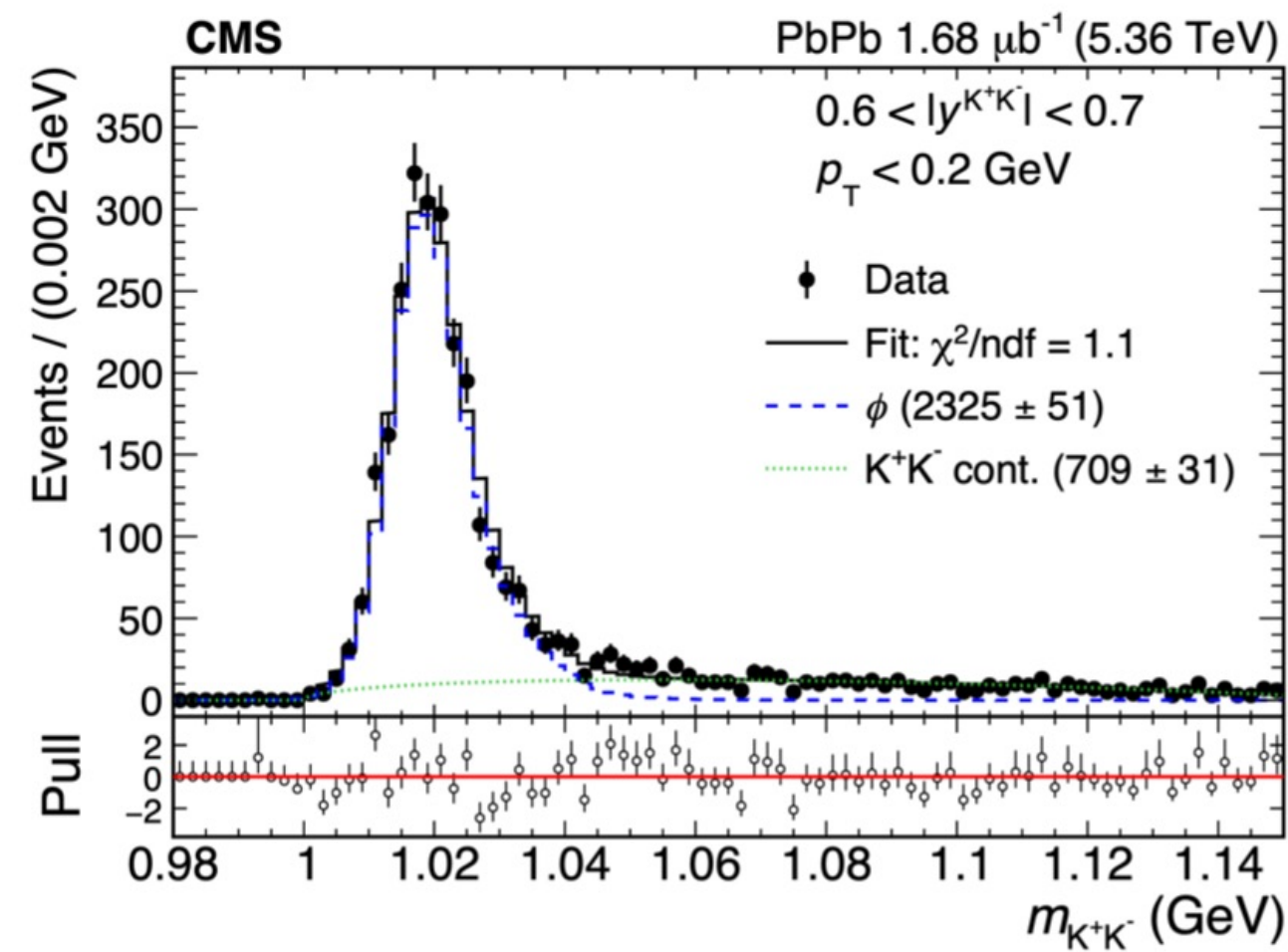
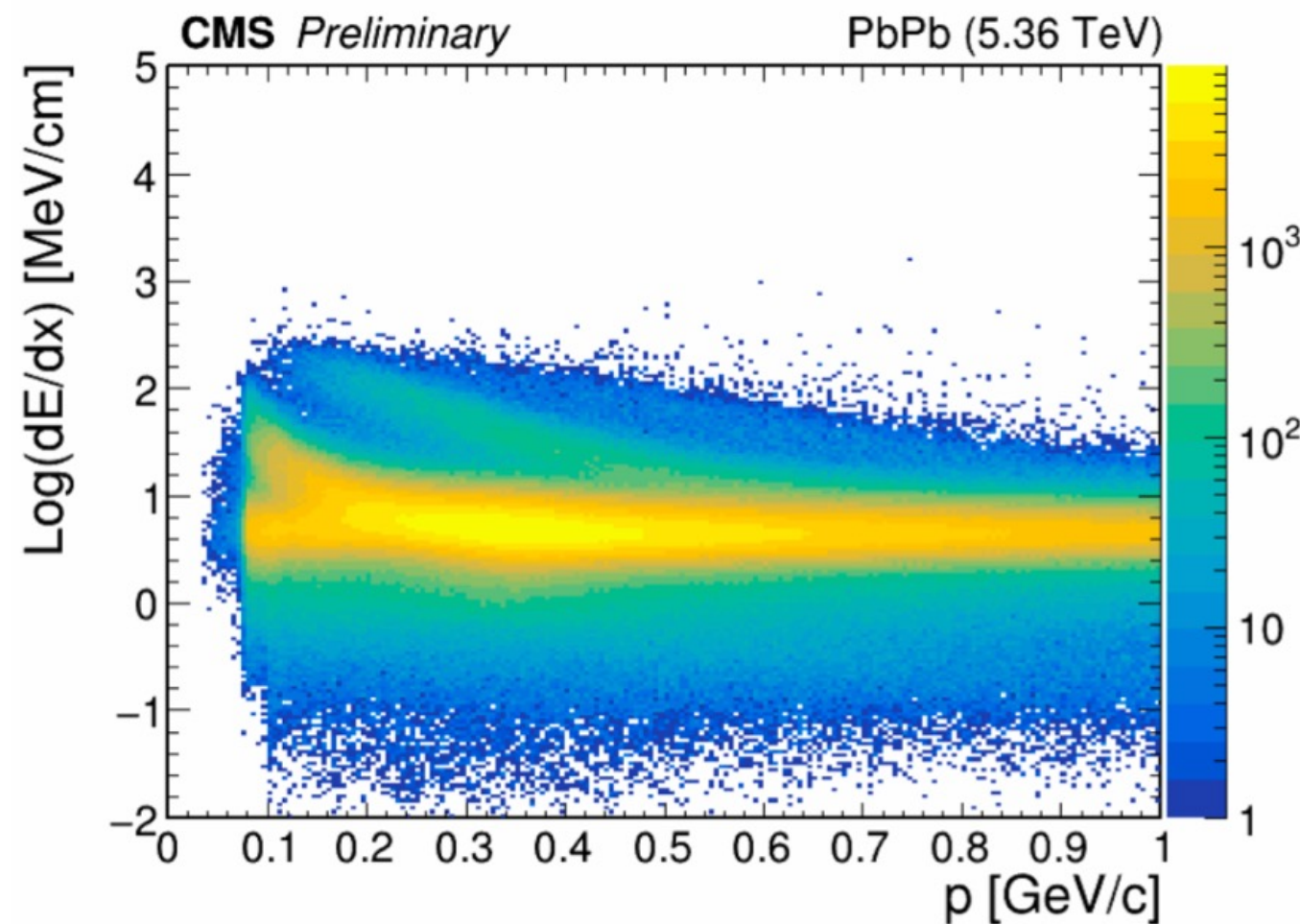


首次观测到相干光致产生 ϕ 介子： $\phi(1020) \rightarrow K^+K^-$

CMS

华南师范大学

- 特殊径迹重建 (β^* 比较大) 使 p_T 低至 0.05 GeV
- 利用像素探测器电离能损(dE/dx)进行K-介子粒子鉴别
- 提交到PRL (arXiv:2504.05193)
- [详见华南师范叶早晨报告](#)



CMS探测器电磁量能器性能研究



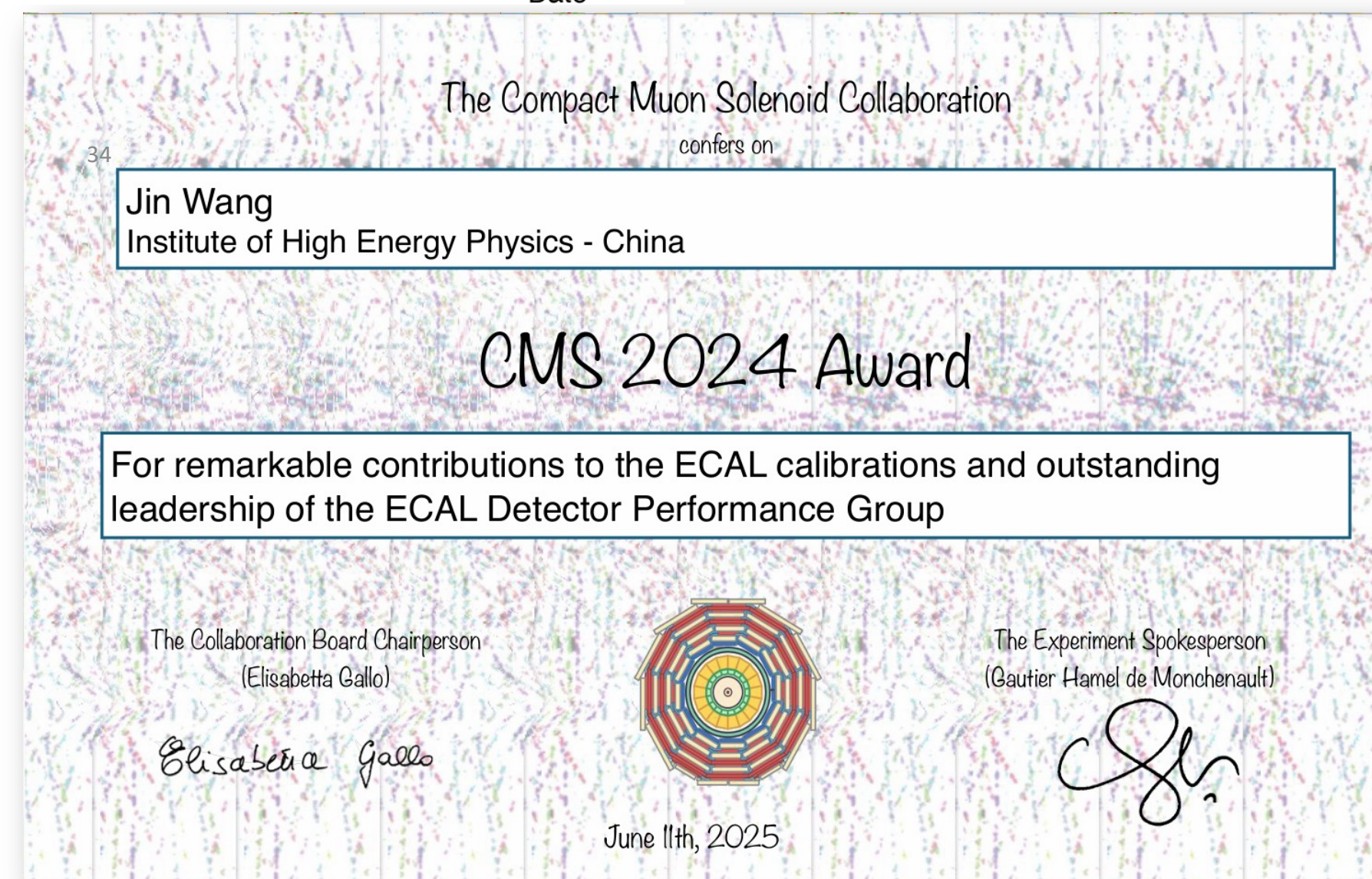
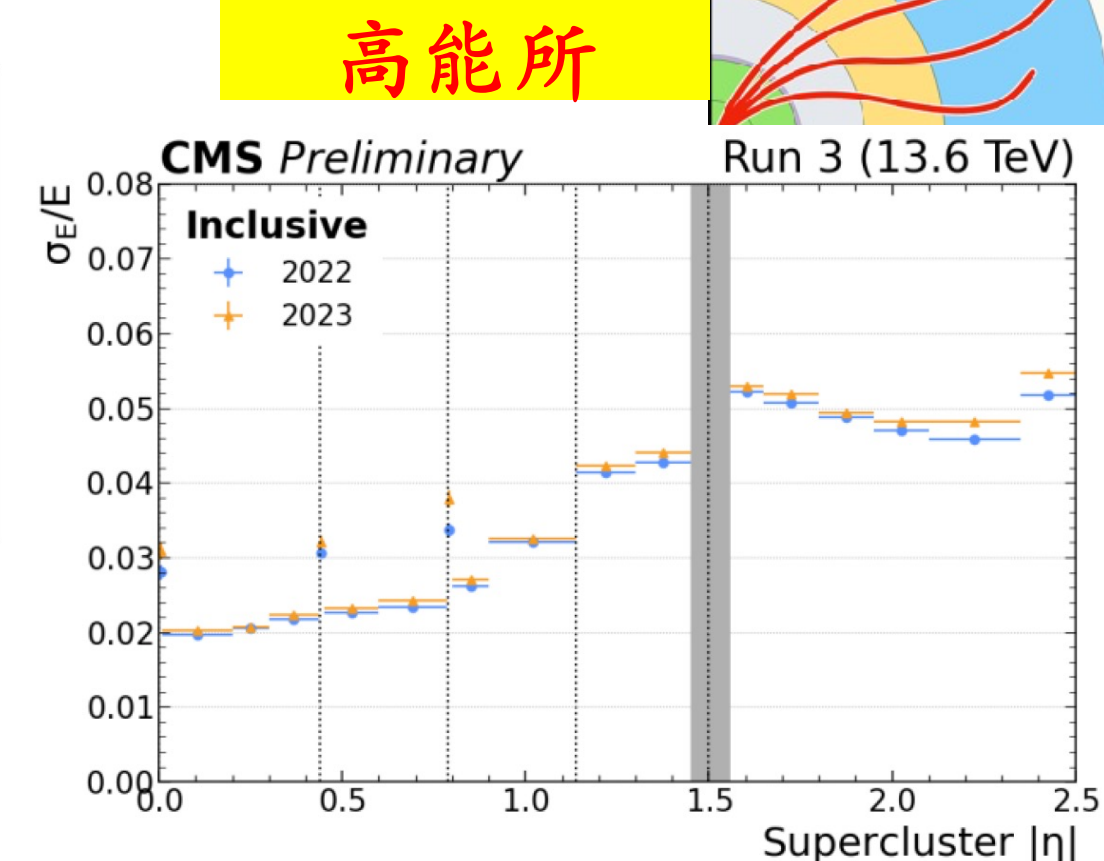
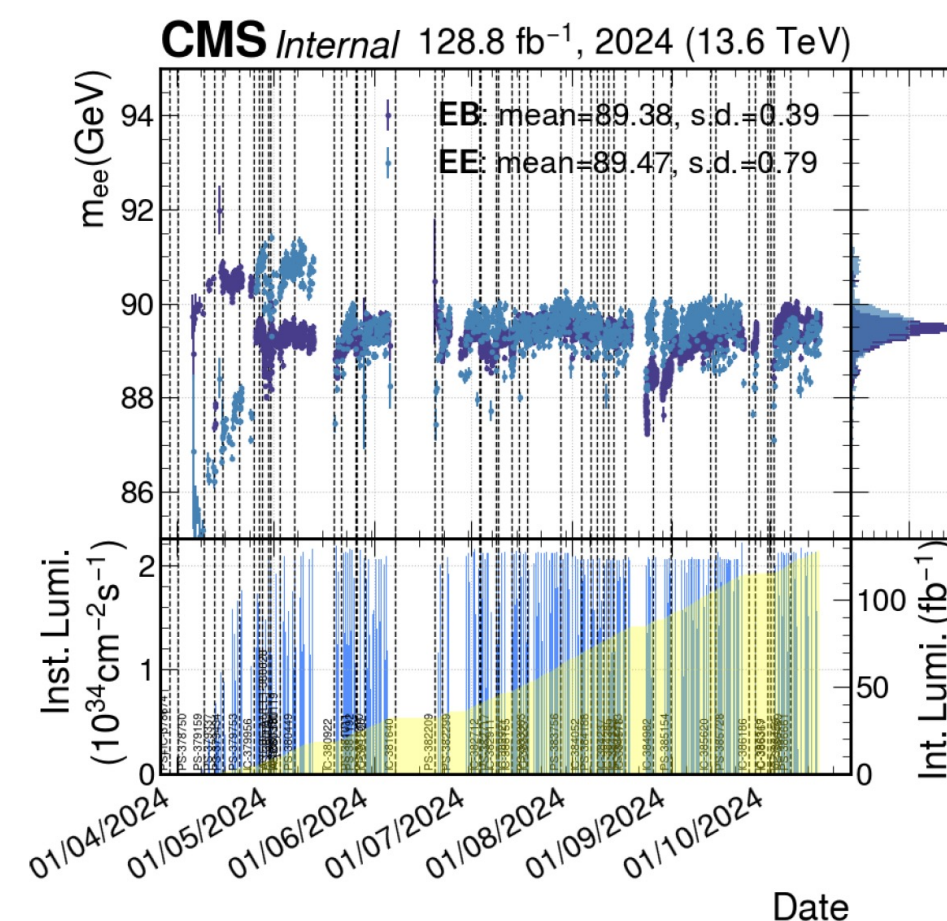
➤ 高能所成员在Run2/Run3 电磁量能器性能研究中起领导关键性作用

- ✓ 王锦担任CMS电磁量能器性能组L2总召集人 (2023至今)
- ✓ 负责Run2/Run3电磁量能器刻度技术研究、性能结果验证
- ✓ 开发在线ECAL性能监控工具及自动化探测器刻度软件
- ✓ 更新维护CMS探测器数据库, 协调联系CMS ECAL运行、触发、算法升级

➤ 领导发布多个电磁量能器Run2和Run3性能研究公开文档

- ✓ [JINST 19 \(2024\) P09004](#): 高能所重要贡献, 产生关键性能图和结果
- ✓ Trigger and calibration performance: [CMS-DP-2024-021](#), [CMS-DP-2024-022](#) (高能所学生给approval报告)
- ✓ Timing, alignment performance: [CMS-DP-2024-061](#), [CMS-DP-2023-001](#)
- ✓ [详见曹天宇报告](#)

➤ 因长期重要贡献, 高能所王锦2025年6月获“CMS 2024 Award”



高能所ROC & computing工作进展总结



高能所

➤ 远程操作中心 (ROC):

详见高能所张华桥、陈晔报告

- CMS官方认证的ROC的运行
- 全局触发器和DQM的值班工作
- 更多中国CMS研究单位的加入和轮班培训

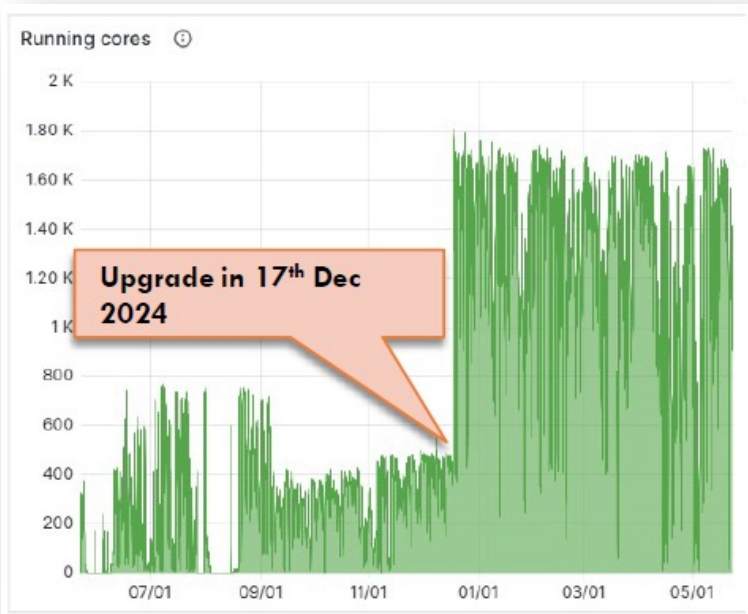
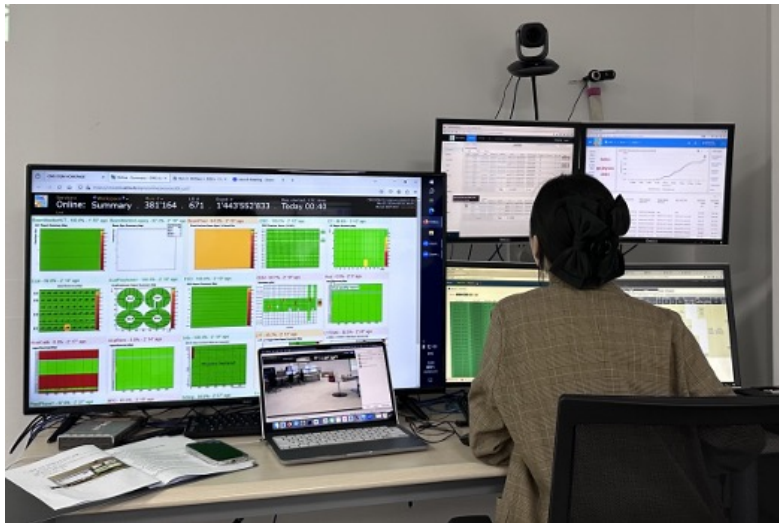
年度亮点

- 2024年完成了ROC的CMS官方认证
- 2024年完成100多个Tigger and DQM 值班任务
- 2025年完成~105个值班任务

➤ CMS Tier2/Tier3计算(computing):

- CMS北京T2/T3中心的运营和维护，以满足全球CMS任务和中国国内需求
- 为机器学习和物理分析提供GPU集群

高能所远程操作中心：
触发和数据质量监测值班



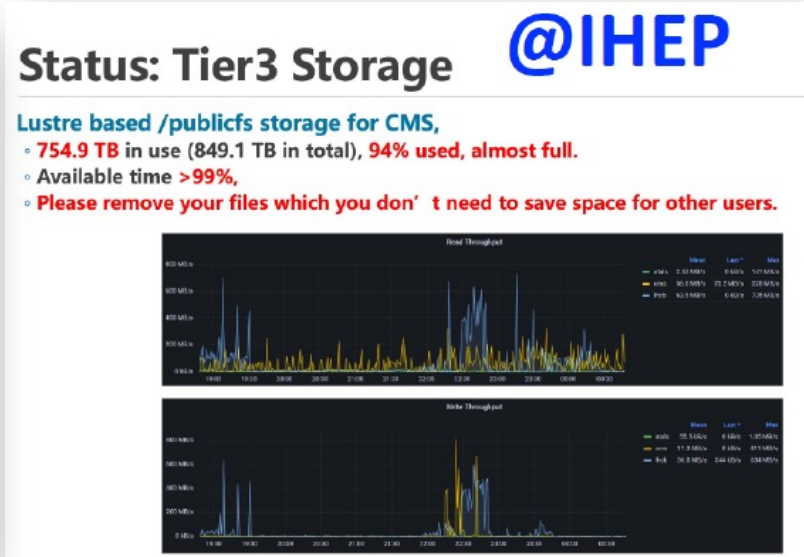
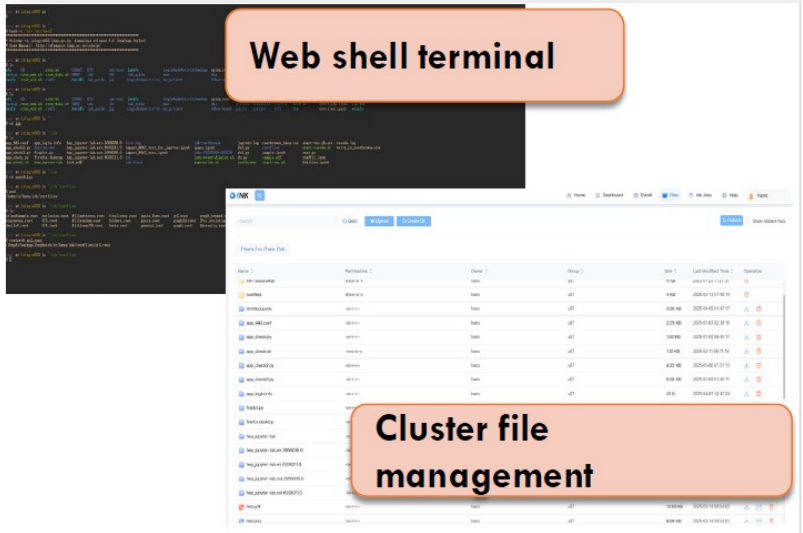
提供基于网络的交互式分析平台INK (Interactive aNalysis worKbench)

大量T3计算和存储的维护

CMS T2计算和存储升级 (2024年底)

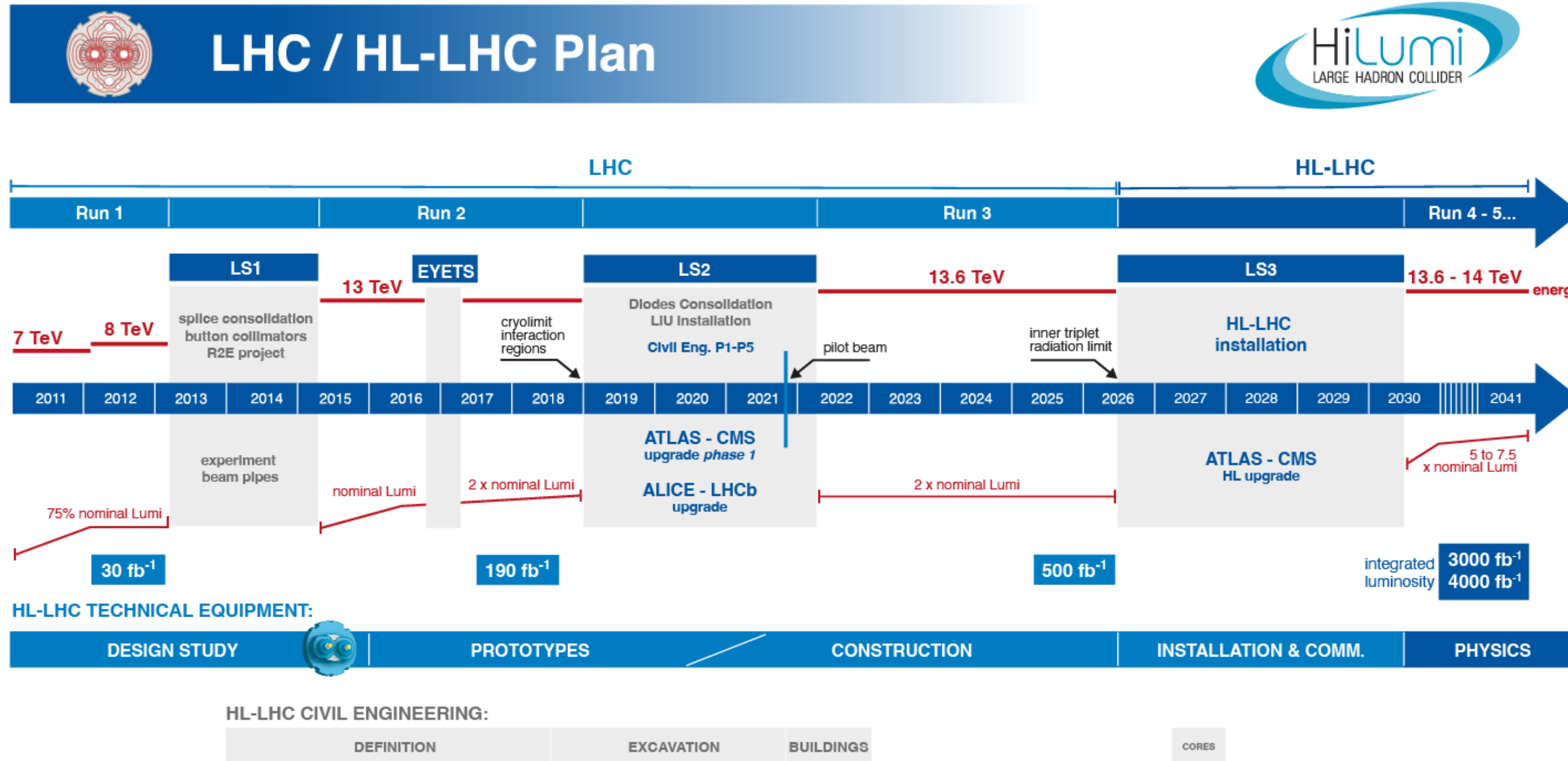
Resource Type	Before	After	Notes
T2 CPU cores	420 cores	1728 cores (3.8x)	Old resources got all replaced
T2 Disk Storage	673.5 TB	1.7 PB (2.5x)	Old resources was kept

- T2 running status in past 6 months
 - T2 jobs
 - 4,279,167 jobs
 - T2 CMS-Rucio managed storage,
 - 540 TB in used, 1400 TB in total (38.6%).
 - T2 user storage
 - 349 TB in used, 350 TB in total (99%).

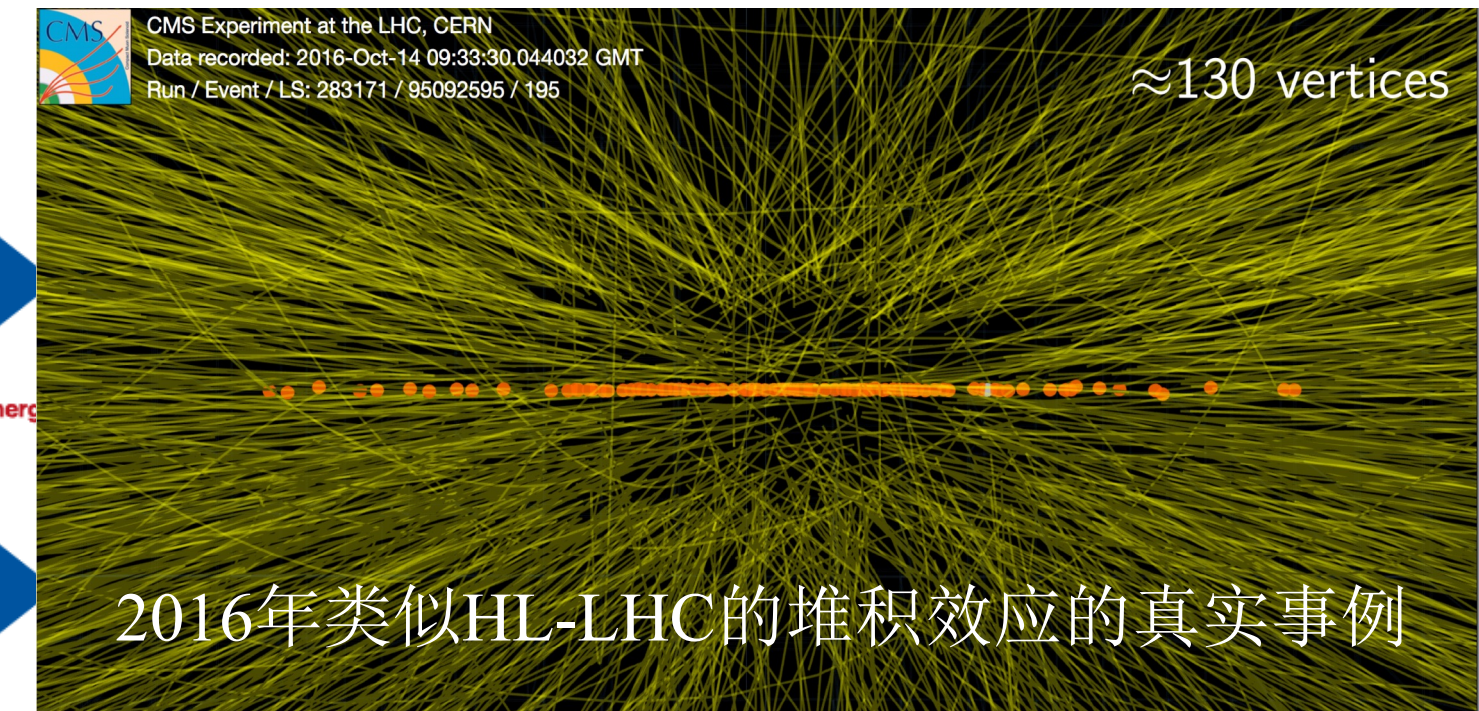


高亮度大型强子对撞机HL-LHC

CMS

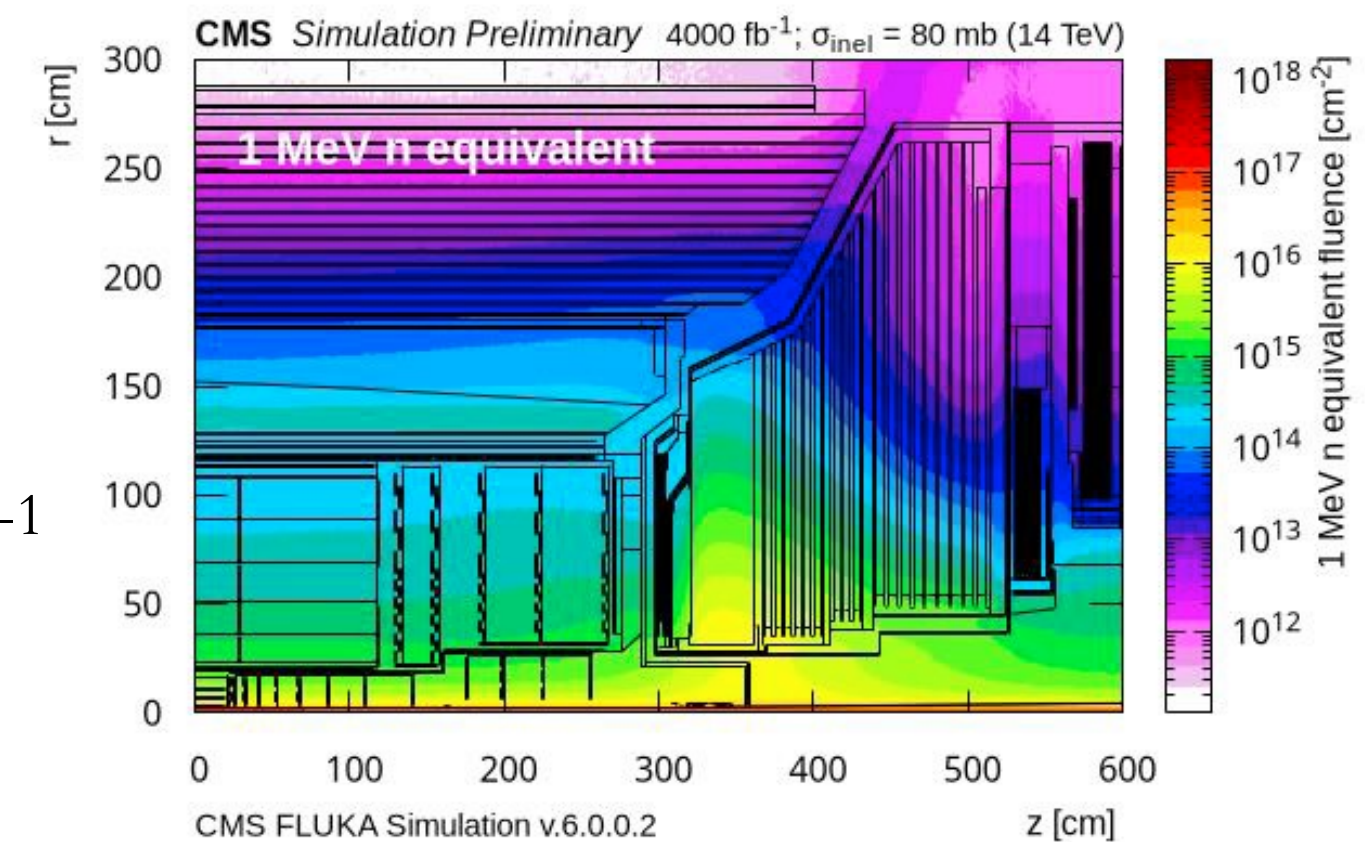


堆积效应



2016年类似HL-LHC的堆积效应的真实事例

高辐照环境



HL-LHC:

- 预期瞬时亮度达到 $7.5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 预期积分亮度达到 3000 fb⁻¹
- 每次对撞 bunch crossing 同时产生140 - 200 个对撞顶点 (pileup)

现今 - HL-LHC取数, CMS探测器升级的关键时期



★ 最小电离粒子时间探测器 (MTD):

- 测量带电粒子 ($< |\eta| \sim 3$) 时间达到 40~60 ps 精确
- 桶部探测器 (BTL): LYSO:Ce 晶体 + 硅光电倍增管 SiPM
- 端盖探测器 (ETL): 低增益雪崩探测器 (LGAD)

★ 缪子探测器:

- DT&CSC 全新读出电子学
- 全新 GEM/iRPC 探测器 chambers
- 提高探测器尺度 $|\eta| \sim 2.8$

桶部量能器:

- 高能电子/光子精确时间信息 ($< 1\text{ns}$)
- ECAL/HCAL new back-end boards

★ 端盖量能器 (HGCal):

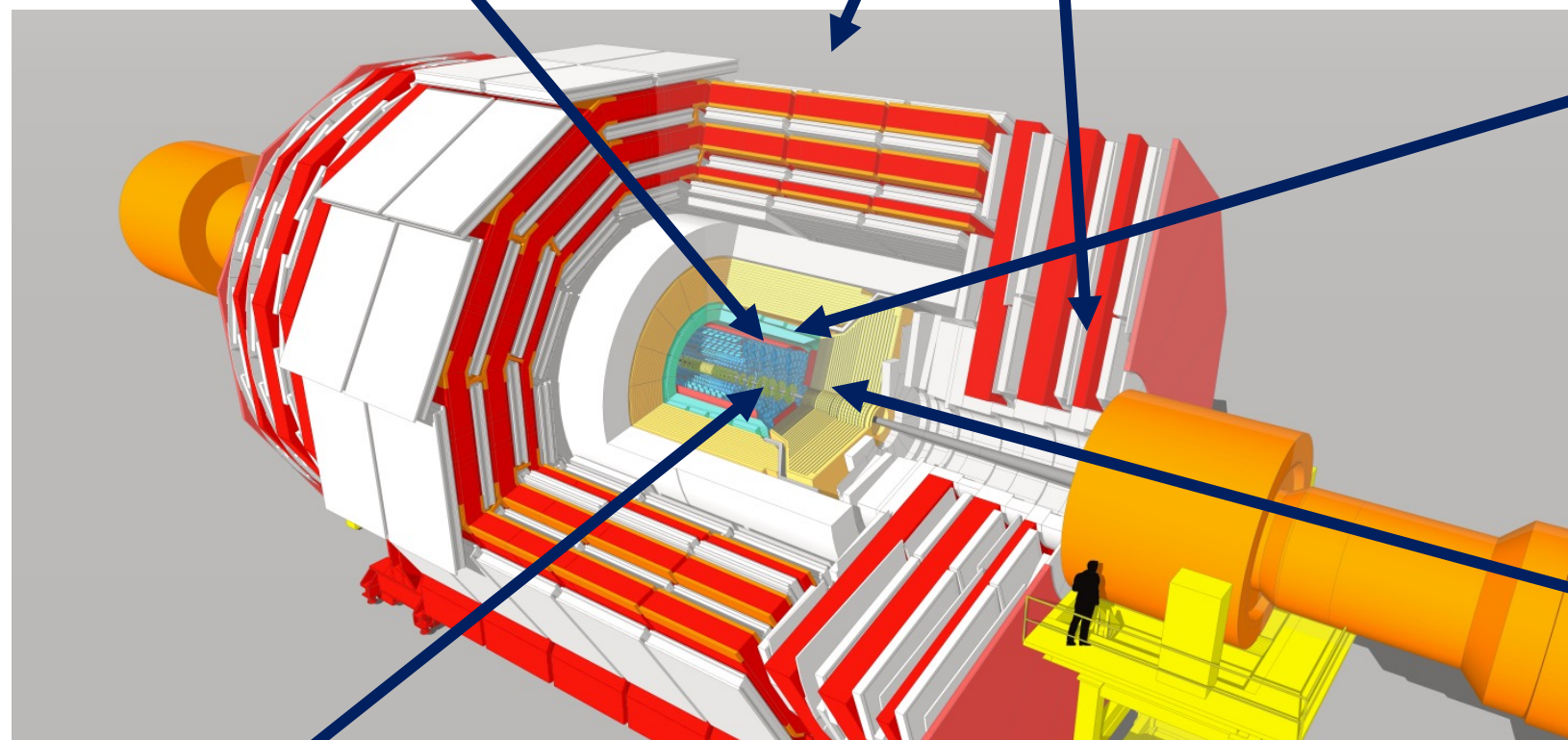
- 3D 重建
- 高能粒子精确时间信息 (30 ps)
- 硅探测器, 硅光电倍增管 SiPMs 读出闪烁体

★ 触发与读出 Trigger/HLT/DAQ:

- 一级触发中有径迹、粒子流粒子重建、人工智能算法用于 FPGA 一级触发中
- 触发带宽: 7.5 kHz

硅径迹探测器:

- 硅像素和硅微条探测器 ($> 2\,000\,000\,000$ 通道)
- 提高探测器尺度 $|\eta| \sim 3.8$
- 探测器新设计提供一级触发中有径迹

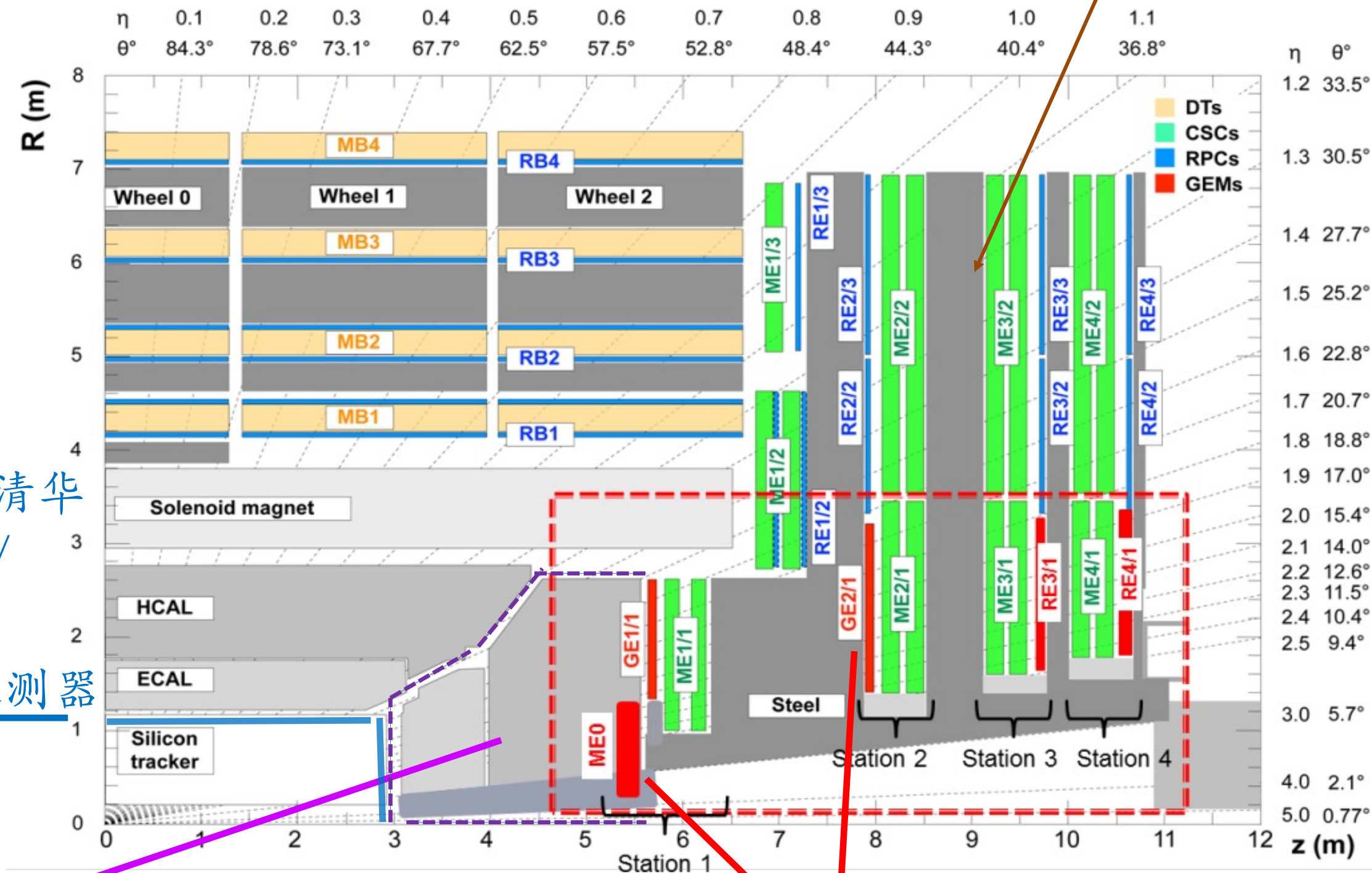


CMS探测器升级中国组贡献

CMS

高能所

RPC/iRPC 缪子探测器及一级触发



北大/北航/清华
/科大/山大/
华南师大
MTD时间探测器

高能所/清华/浙大/复旦/南师
HGCal量能器

北大/中山/北航/清华
GEM缪子探测器

CMS中国组承担四个硬件项目

- HGCal高粒度量能器
- GEM端盖缪子探测器
- RPC一级触发
- MTD最小电离粒子时间探测器

详见周日赵京周报告



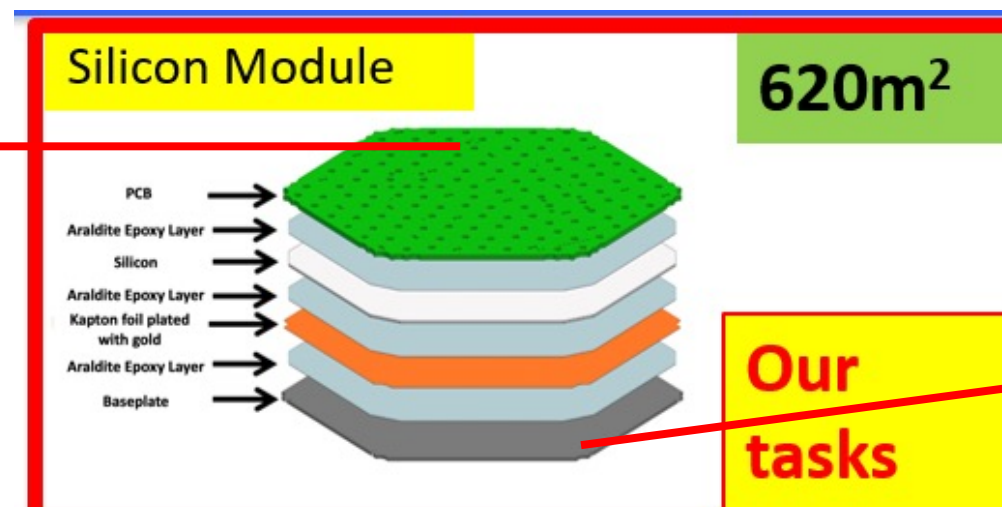
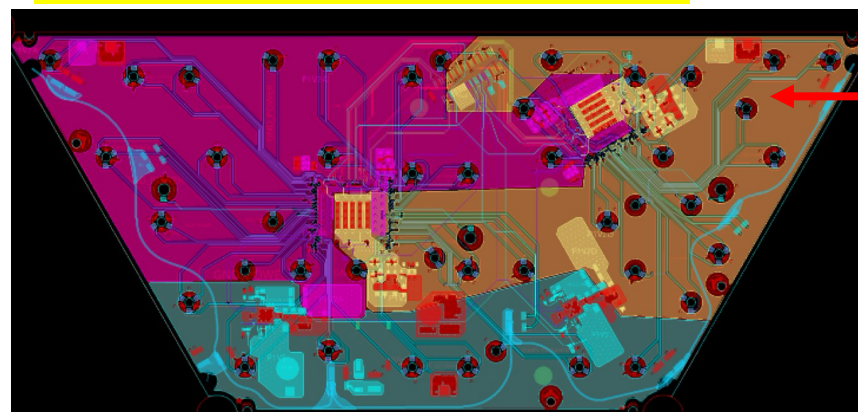
年度亮点

➤ 高粒度电磁量能器(HGCal) :

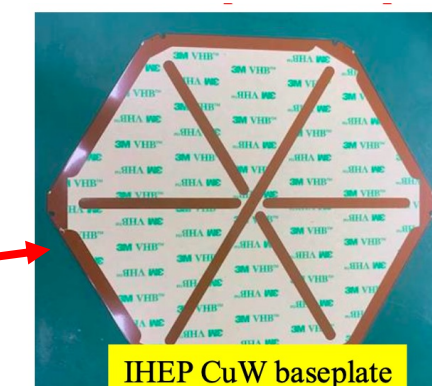
- 建立/掌握高粒度量能器硅模块生产工艺, 进行批量生产: 共26000个硅模块, 20% 在中国生产 (高能所组装中心)
- 研制钨铜合金底板和屏蔽绝缘层的制作 (弥补俄罗斯缺席的影响)
- 建立硅传感器测试系统, 测试国产6寸硅传感器
- 参加CERN的硅传感器测试; 前端电子学芯片、板卡测试;
- 参加模块束流测试和束流数据分析

- 2024年11月以来组装约**75块模块** ($\sim 1.5\text{m}^2$), 包括15块将要安装在CMS探测器上的模块
- 2024年下半年**CERN两次束流测试的模块全部来自高能所**
- 高能所设计的**CuW底板**通过了各项测试, 拿到 **$\sim 90\%$ (面积)的订单**, k-contract合同已经签订
- 增选加**张华桥**为硅模块底板组的共同协调人 (L3)

浙大部分PCB设计

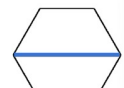


高能所CuW底板 R&D与量产



First 7 V3B module at IHEP

Two Halves : Top & Bottom



Two Semis : Left & Right



One Five and One Three



HGCAL探测器升级

高能所、清华、浙大、复旦、南师

CMS

目前共生产了55块约1.1平米硅模块

➤ 对齐精度好于150微米

➤ 多次被选中率先使用新器件生产

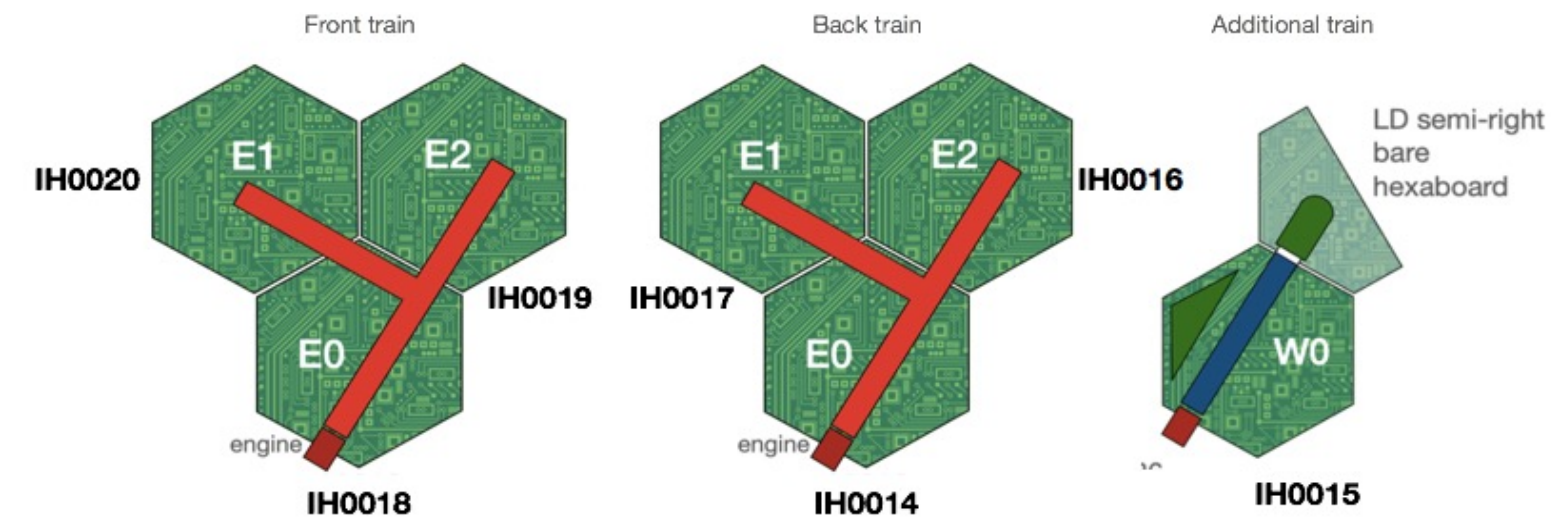
2024年两次HGCAL CERN束流测试

➤ 全部来自高能所组装中心制作模块

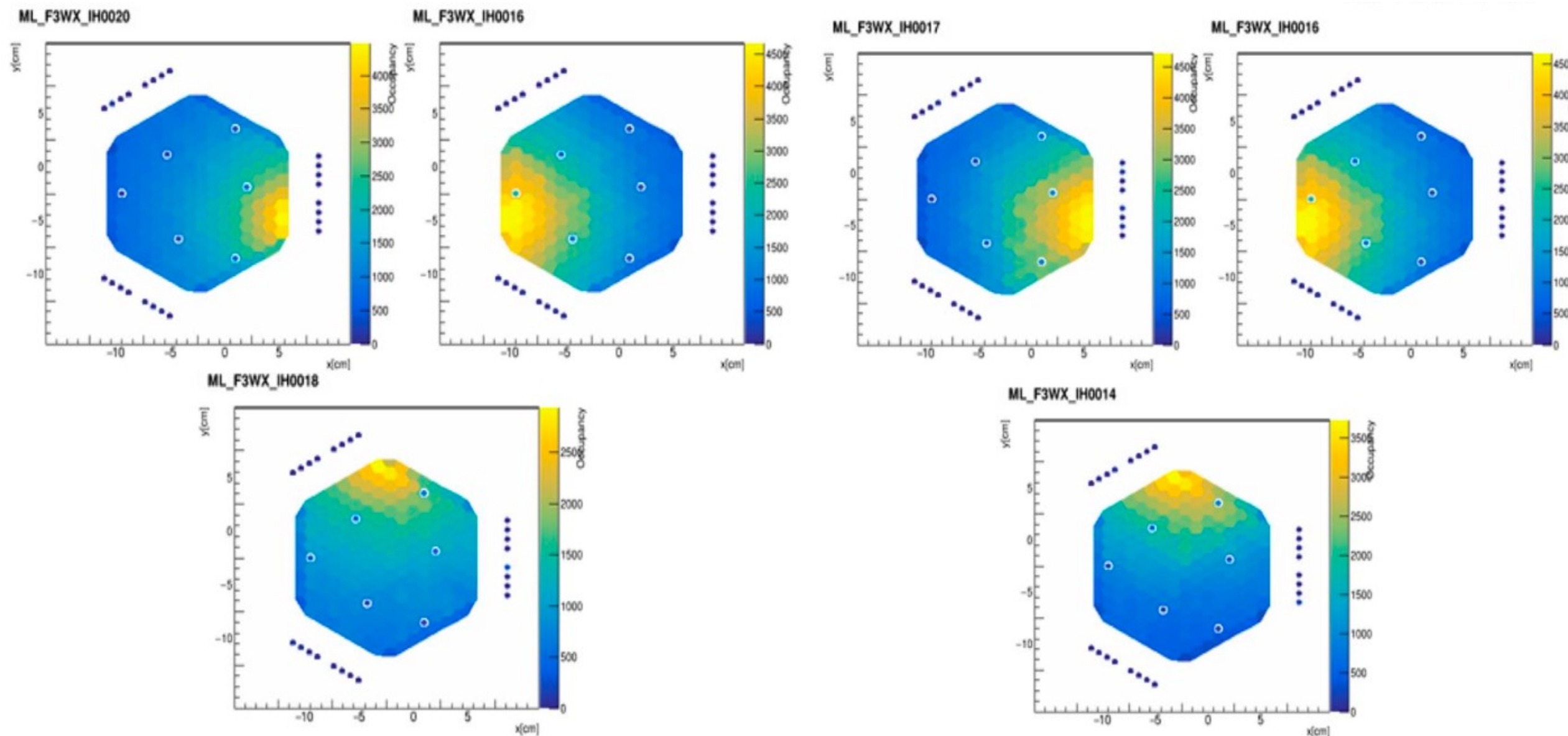
➤ 所有模块在测试中表现良好

➤ 详见高能所侯宝瑞报告

高能所组装中心生产的V3B硅模块在2024年9月CERN束流测试



高能所组装中心硅模块质控测试平台

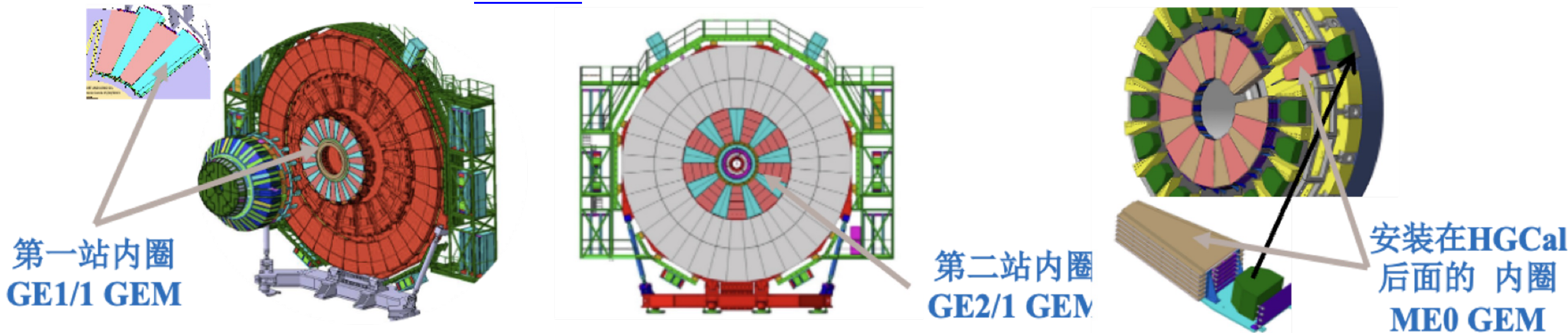


GEM探测器升级

北大、清华、中山、北航



- 大面积GEM技术在高能物理实验的首次大规模应用，保证缪子高触发效率、提高发现新物理潜能
- 中国组承担GEM研发与组装测试、结构部件生产、电子学研制和生产等任务
- 详见北大Jiahua Chen[报告](#)



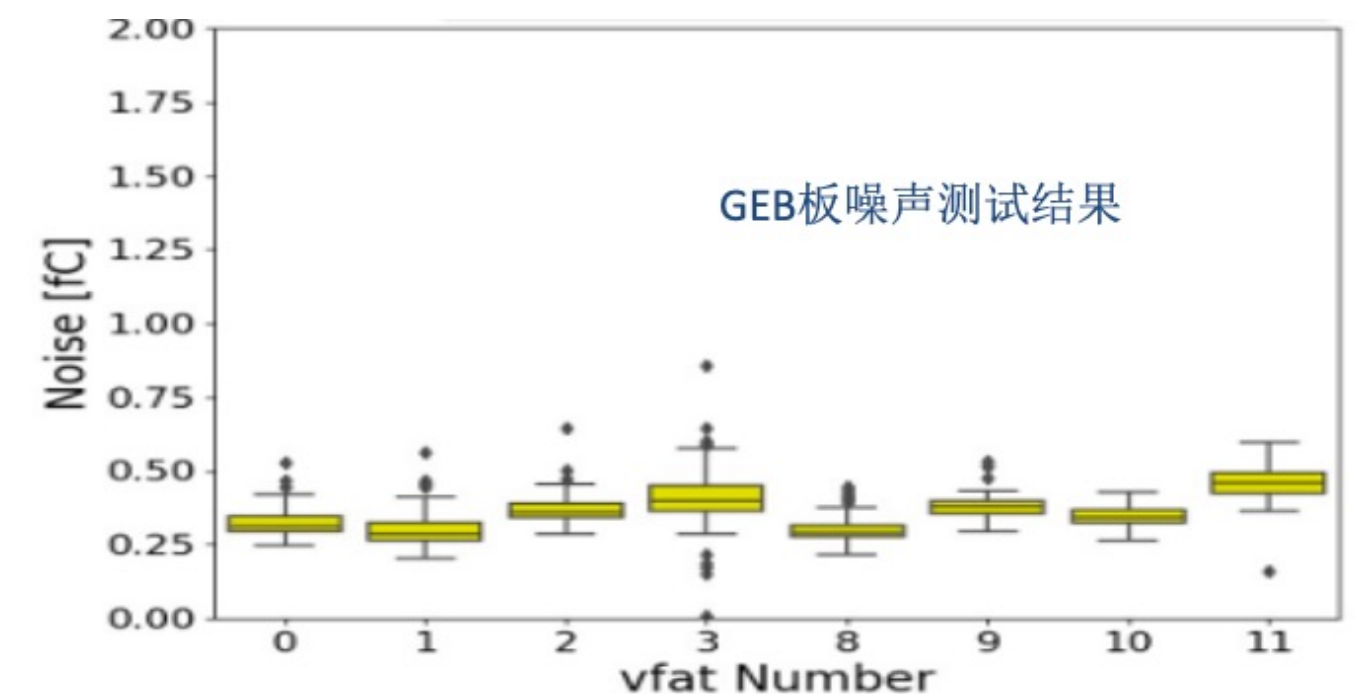
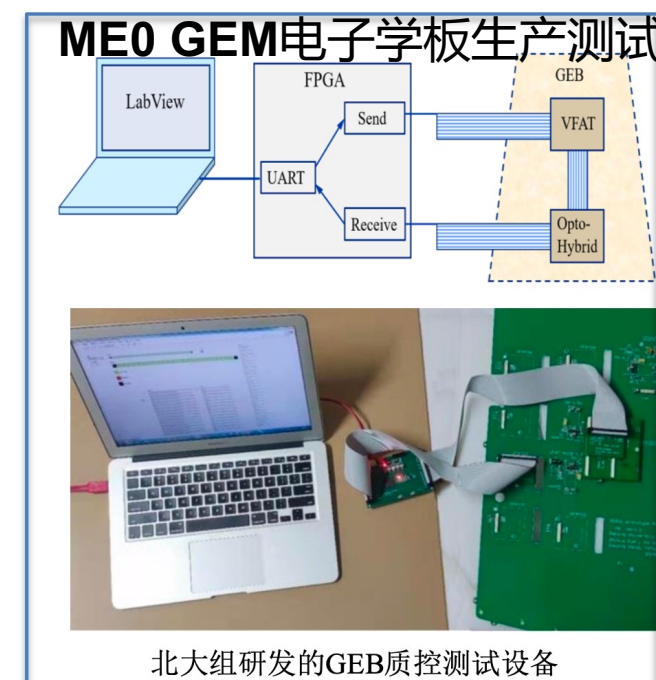
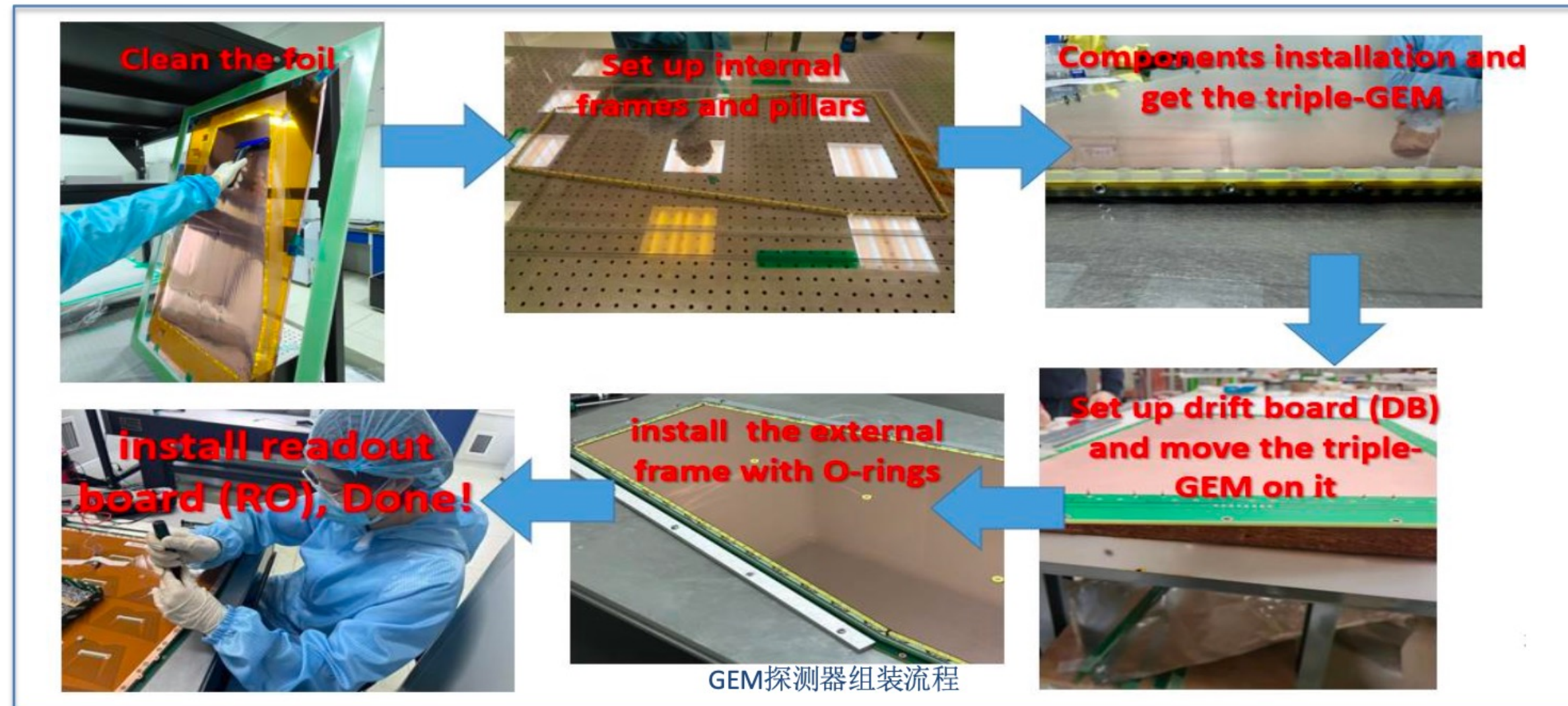
升级探测器		GE1/1	GE2/1	ME0
探测器个数*		288 (=2×36×4)	288 (=2×18×8)	216 (=2×18×6)
计划	预研	2013-2017	2014-2021	2014-2024
	批量生产	2017-2019	2022-2024	2024-2027
	安装调试	2018-2020	2023-2026	2026-2028
中国组任务		全部前端电子板GEB 生产测试，在CERN 的探测器组装测试、 安装调试	设计研发及生产测试 全部GEB，在北大生 产1/8 GEM探测器， 在CERN进行组装测 试、安装调试	设计研发及生产测试 全部GEB，在北大生 产~1/5 GEM探测器， 在CERN进行组装测 试、安装调试



2024年10月，北大基地组装的第一块ME0 GEM探测器

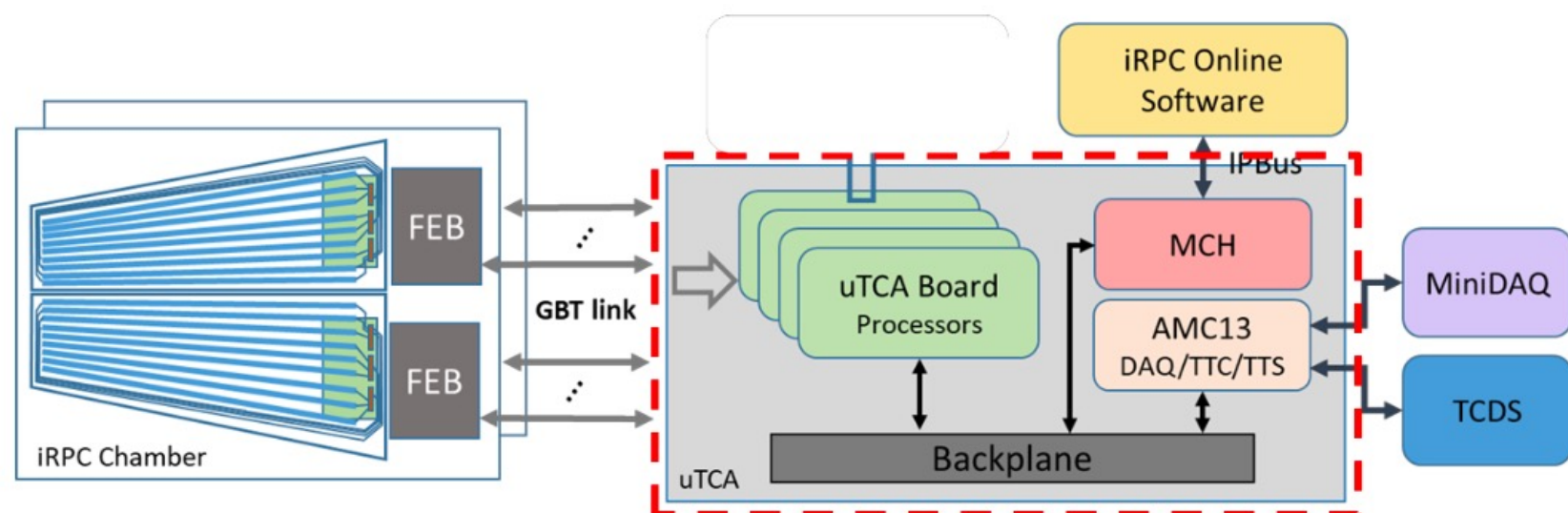
*（总探测器个数=端部数×每个端部module数×每个module探测器个数）

- GEM探测器组装与测试 (GEM膜高压及电阻率、气密性、电流电压曲线、X射线增益等)
- 至2023年12月，在北京大学基地完成了两批共15块GE2/1 GEM探测器的组装测试
- 至2024年11月，完成了第一批共10块ME0 GEM探测器的组装测试
- 至2025年6月，第二批共10块ME0 GEM探测器的组装与测试正在进行
- 完成了ME0-GEB前端电子学板设计研发及全部540块的批量生产，测试合格后已运达CERN
- 研制成功了ME0 GEM FR4外框架，并完成了全部约230套外框架的批量生产并运往CERN



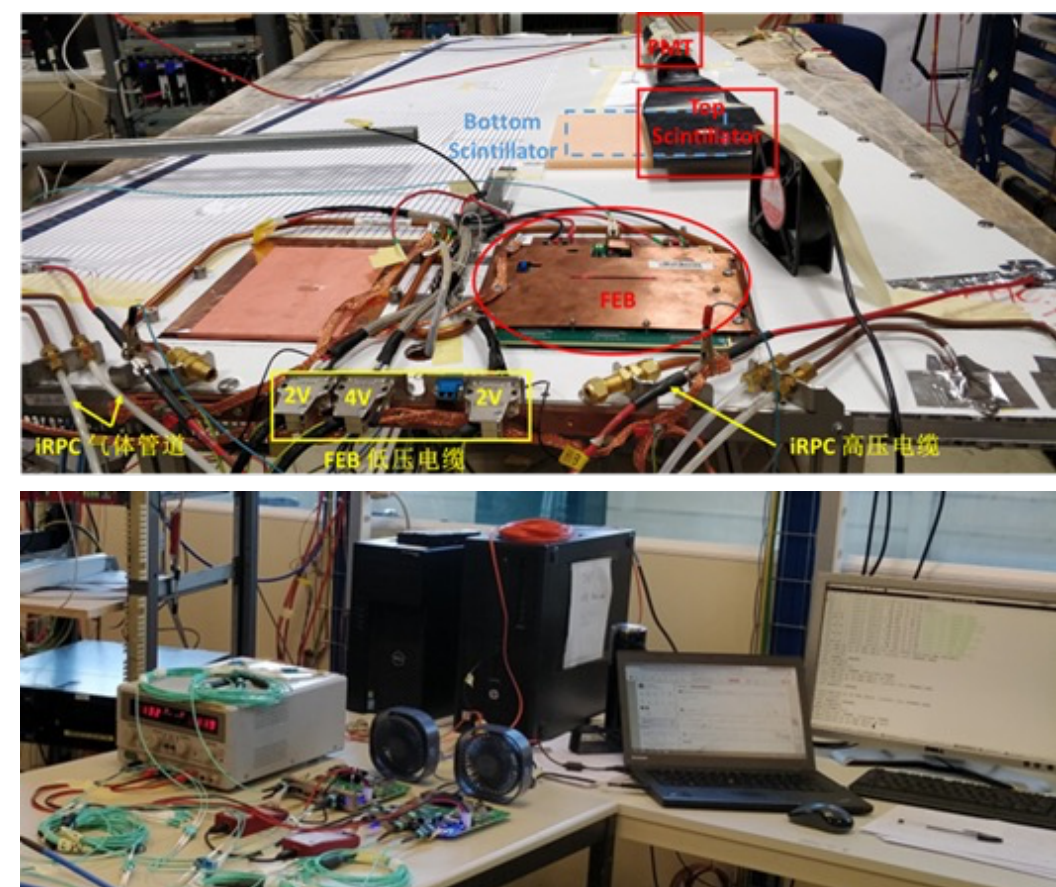
➤ Trigger触发电子学

- iRPC/RPC后端触发电子学
触发延时在iRPC前后端电子学方面的优化
RECF/RPC backend设计
[详见高能所Sheng Dong报告](#)

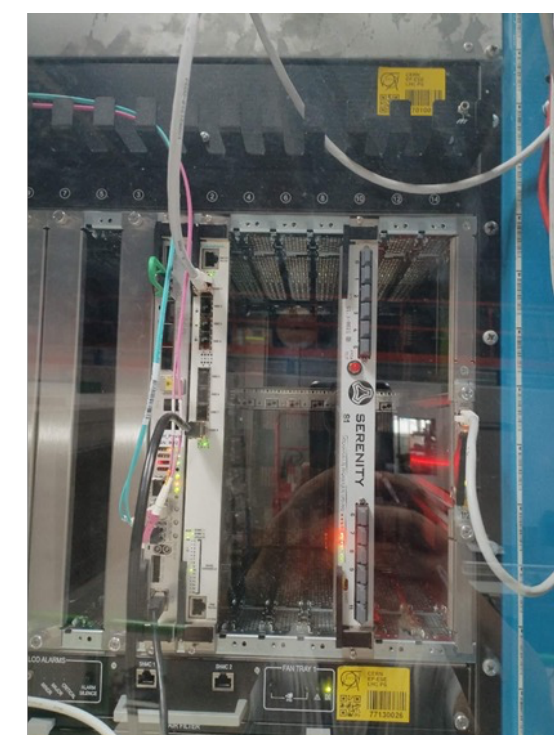
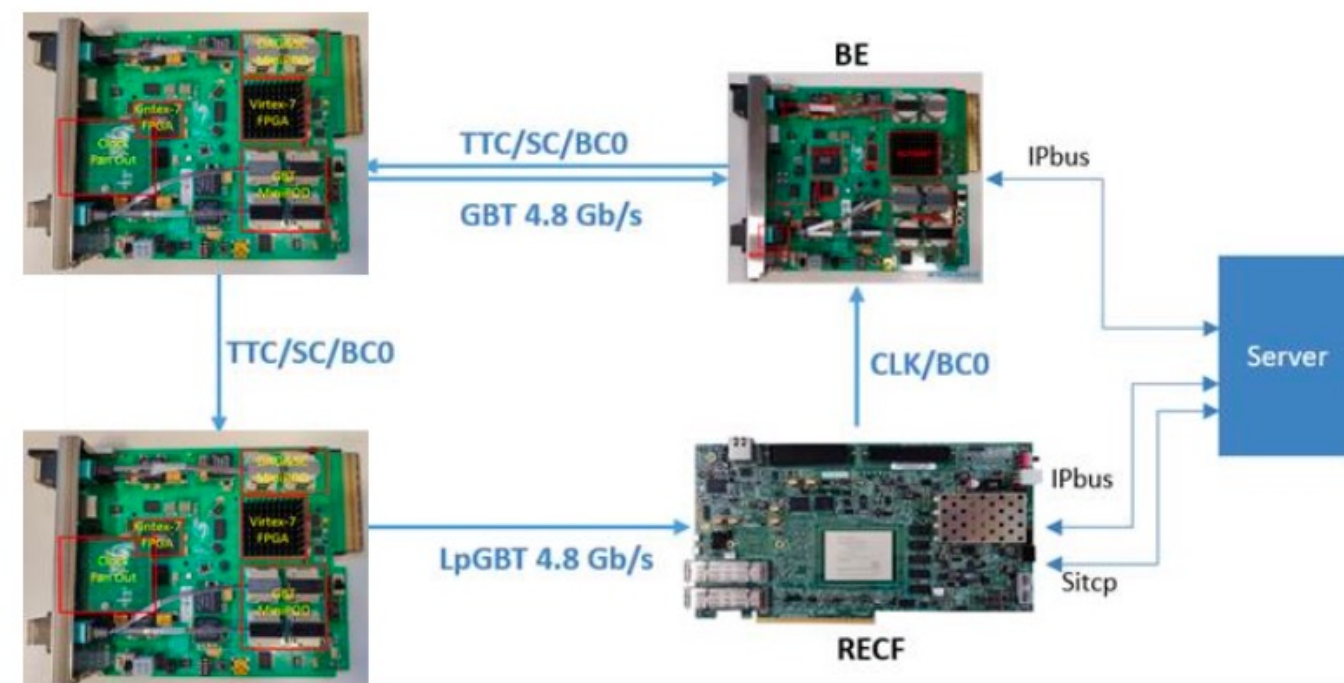
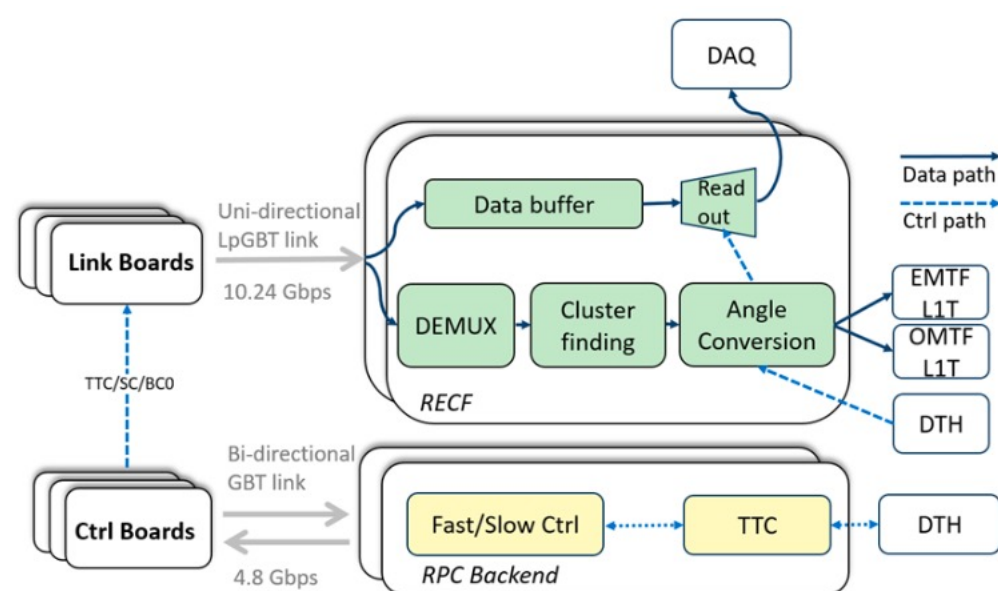


年度亮点

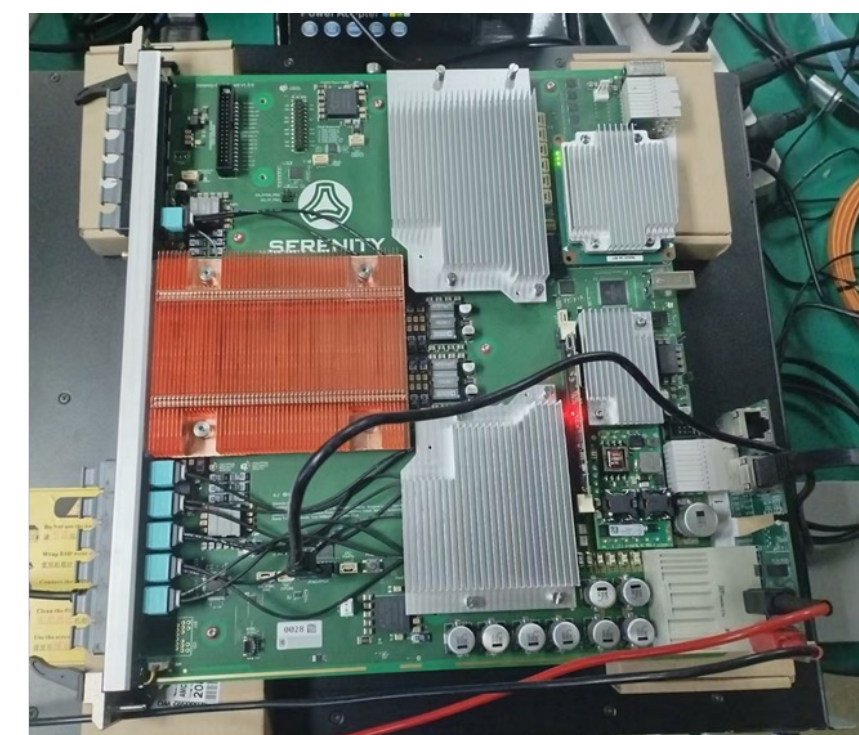
- 开发了**新版本的簇查找算法**，并通过宇宙线和束流测试进行了验证
 - 提出了**基于时间优先的CSP数据发送机制**，并被合作组接收
 - 开发了基于**MTCA**的**iRPC后端触发电子学Demo系统**
 - 加入Serenity板卡（**CMS升级触发及后端电子学核心部件之一**）指导委员会和技术设计组，**开始样板测试**
- 关键FPGA芯片：VU9P/VU13P
- 继续**RPC BE/TRG** 系统的构建



簇(团)宇宙线研究平台

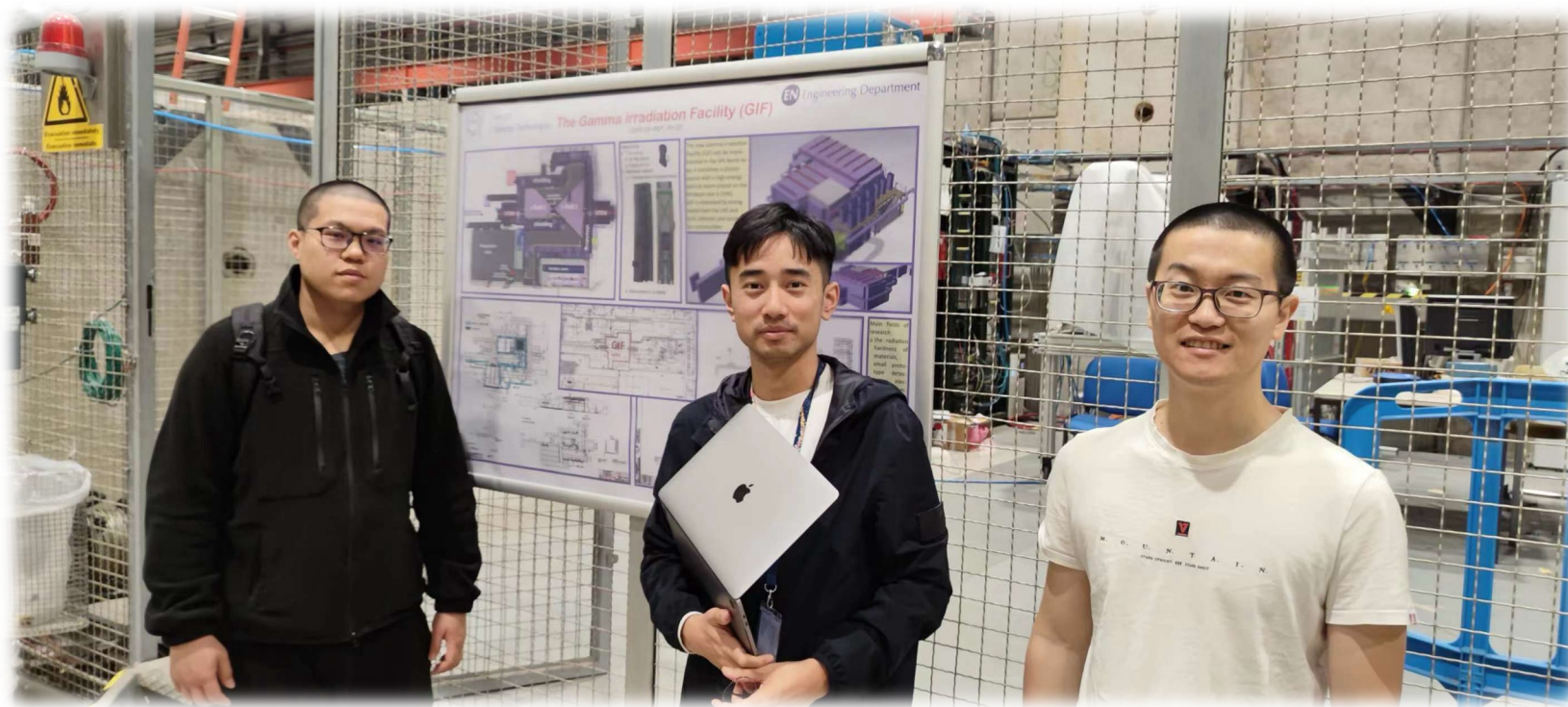


ATCA serenity platform in 904

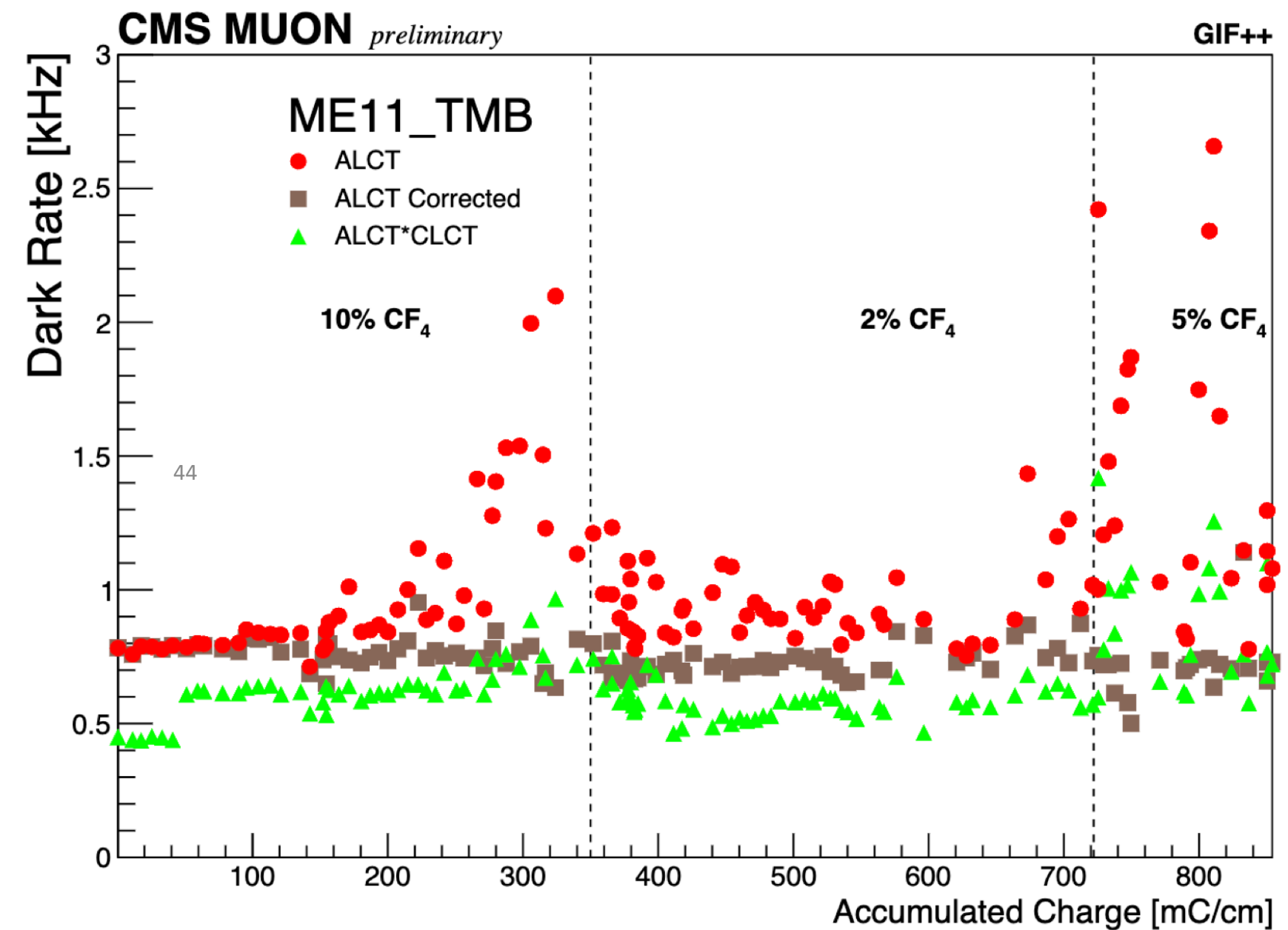


ATCA serenity platform in Beijing TRG Lab

- ✓ 高能所在CMS建造时期承担了约三分之一CSC探测器的研制
- ✓ 高能所成员参与CSC at GIF++ 的束流实验，评估HL-LHC辐照条件下CSC的longevity，寻找更环保的气体组分



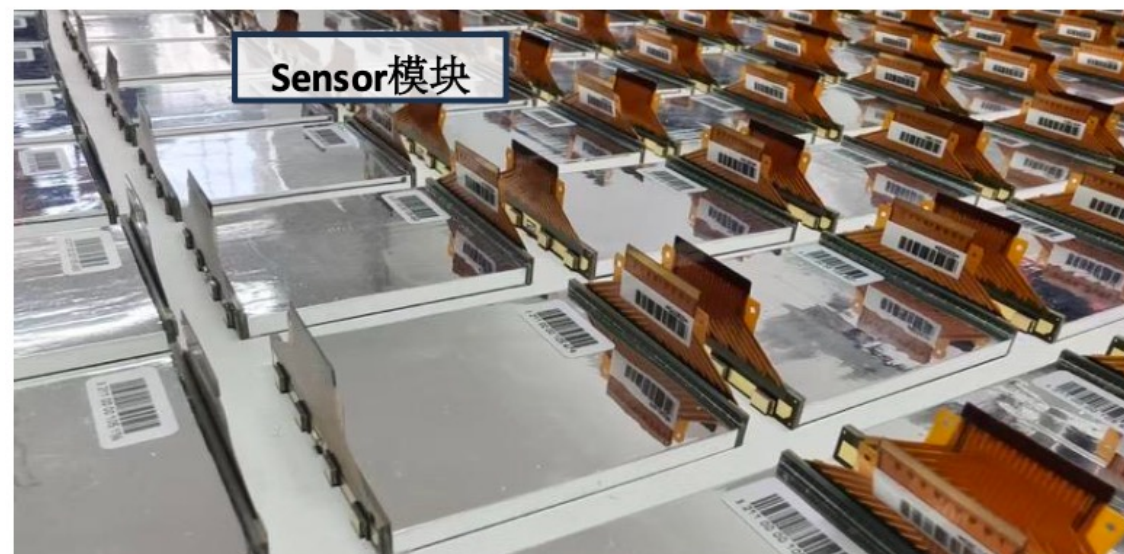
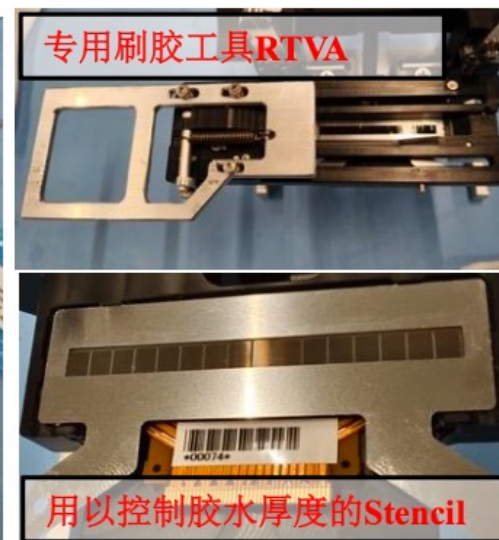
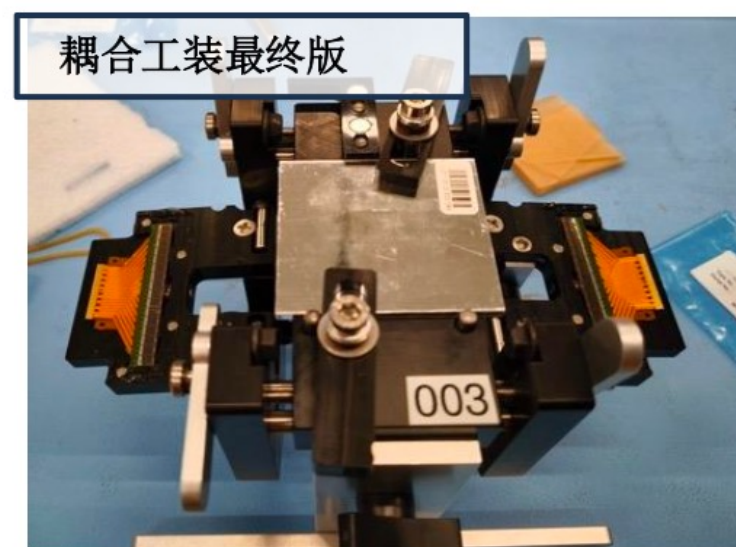
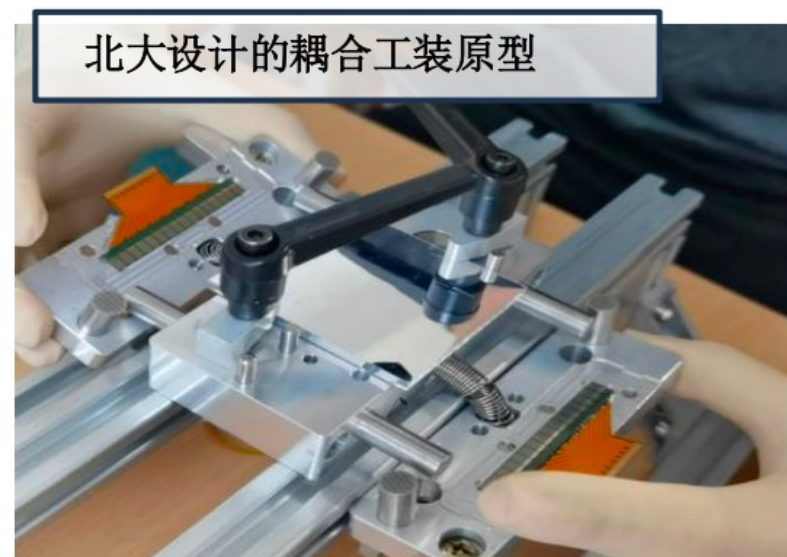
ME1/1不同比例CF₄情况下电子学暗电流测量



探测器模块组装

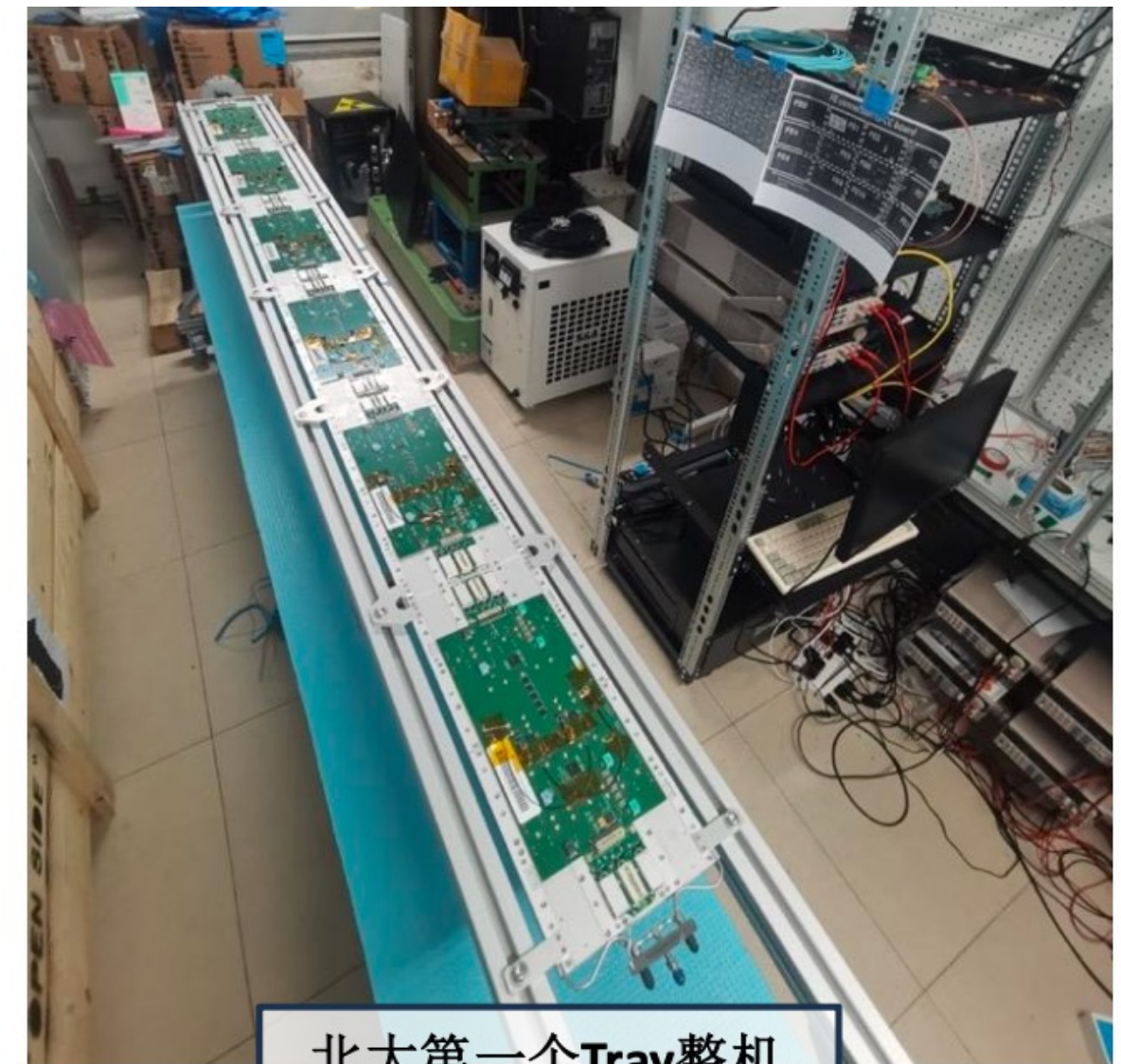
- 中国组负责生产25%模块，已生产超过200个模块
- 通过本地搭建的质控系统完成测试，信号幅度一致性高，良品率高，满足CMS BTL官方组装中心的要求

[详见北大王锦报告](#)、[张明轩报告](#)



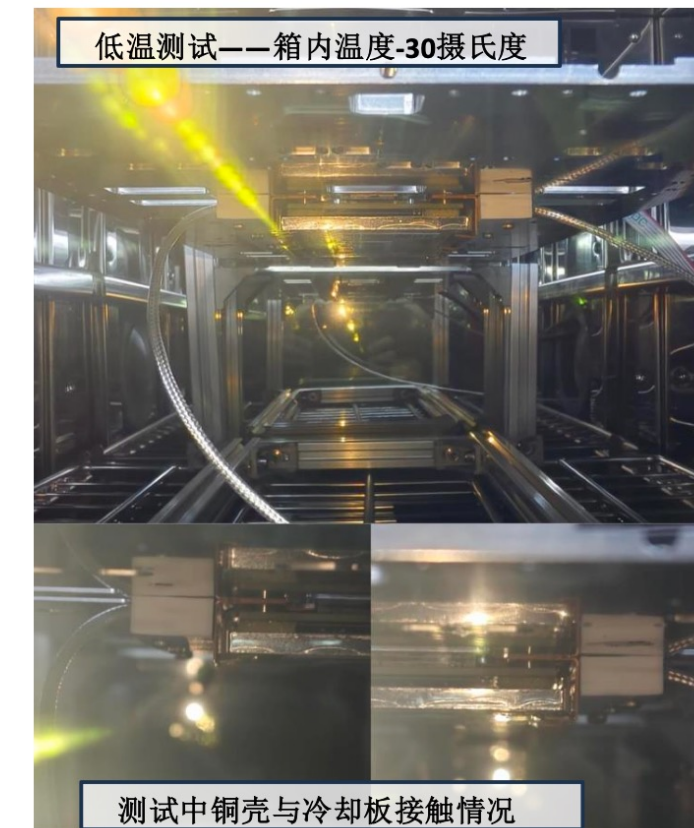
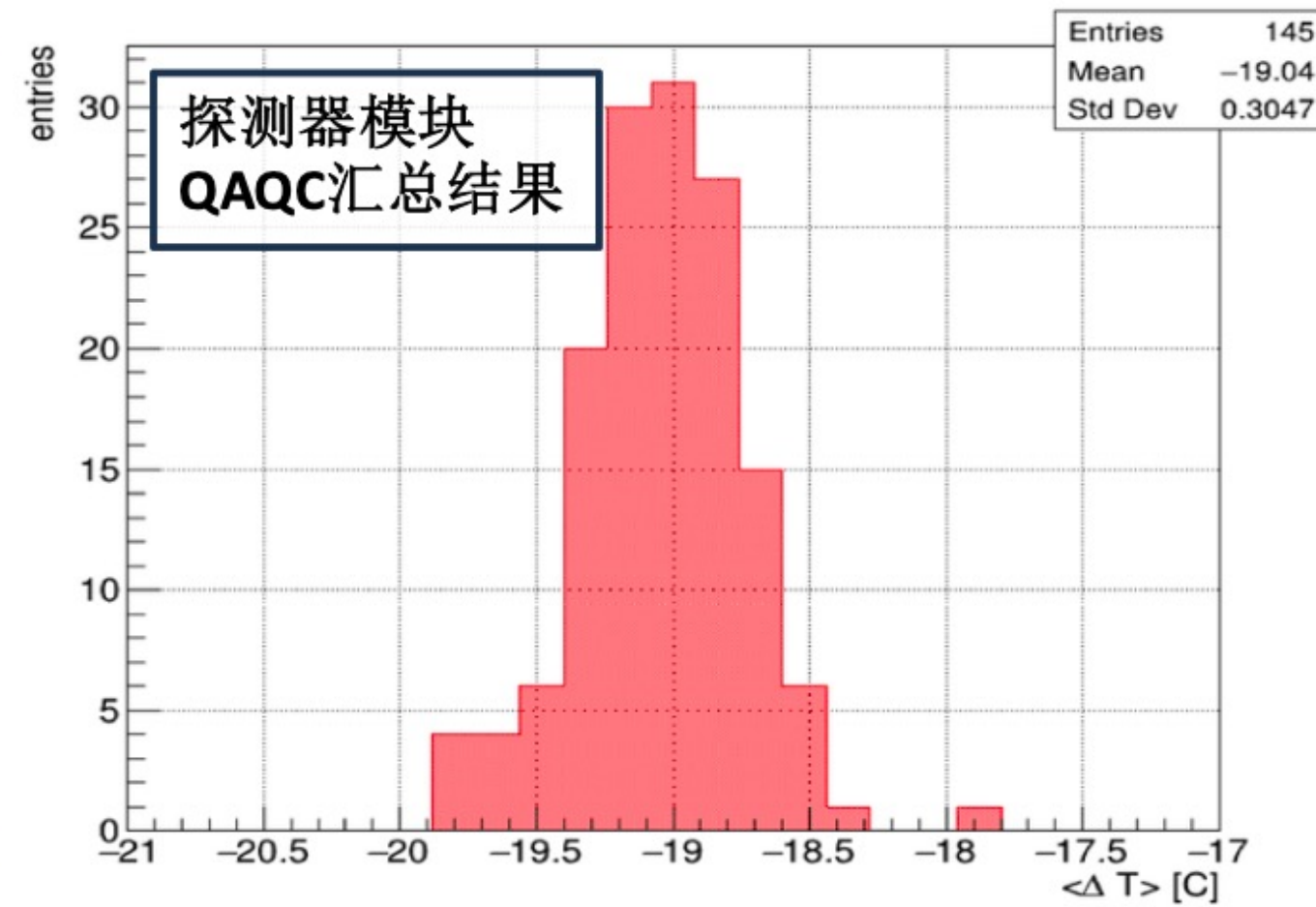
探测器整机组装：

- 2024年7月在CERN完成了1号Tray的建造，基本敲定了Tray组装工艺
- 2025年3月在CERN完成了2号Tray的建造并初步进行质控，确立组装工艺与质控系统的调试
- 2025年4月，在北大完成第一个Readout Unit建造
- 2025年5月，在北大完成第一个Tray整机建造

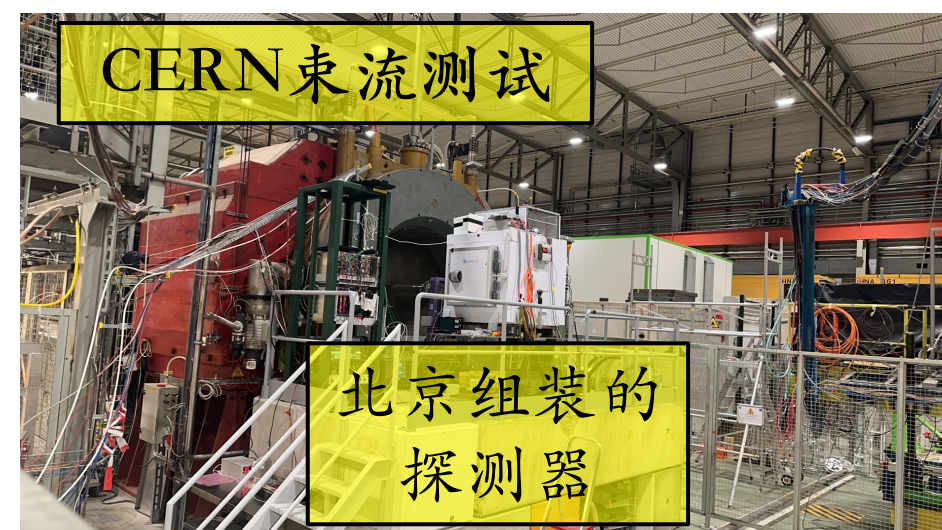
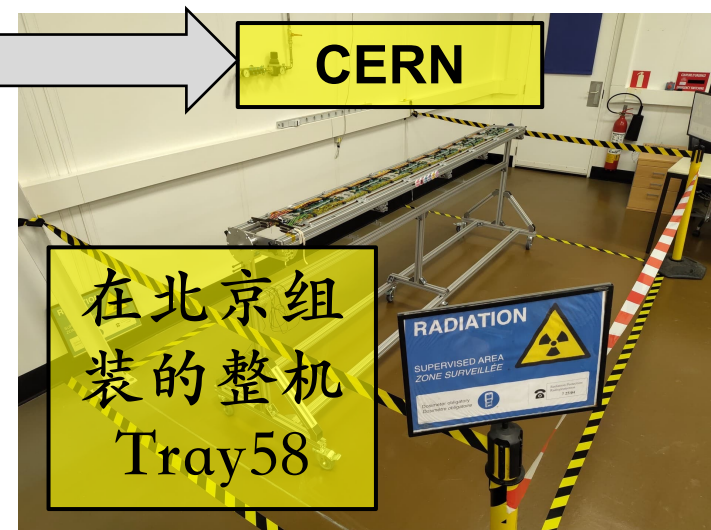
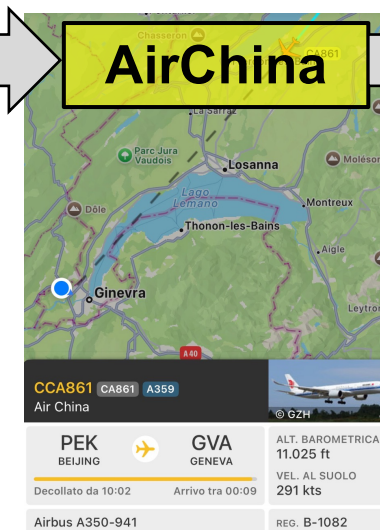


开发12路多通道探测器模块质控监测系统，减小测试时间一个数量级

低温测试：验证热胀冷缩效应并未使探测器模块性能改变和发生形变



在北京组装的探测器运输到CERN，已经经过CERN束流测试，结果分析中

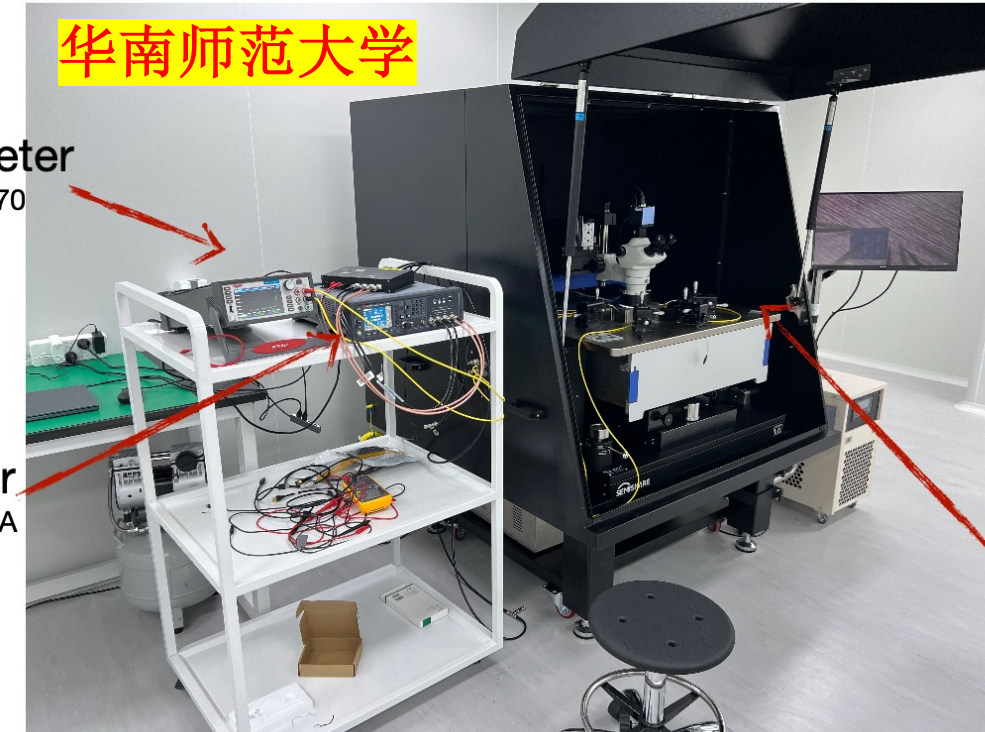


ETL探测器升级

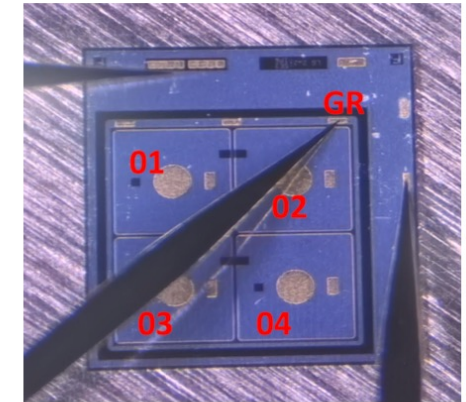
科大、华南师范大学

CMS

- 科大设计电子学板保证测试所有通道并且将其他通道接地，比商用自动探针台结果更精确
- 该电子学板将在多个CMS ETL单位用于LGAD性能研究与质量检测
- 华南师范大学为ETL项目专门建造洁净间，进行LGAD性能测试研究
- [详见科大赵祥报告](#)

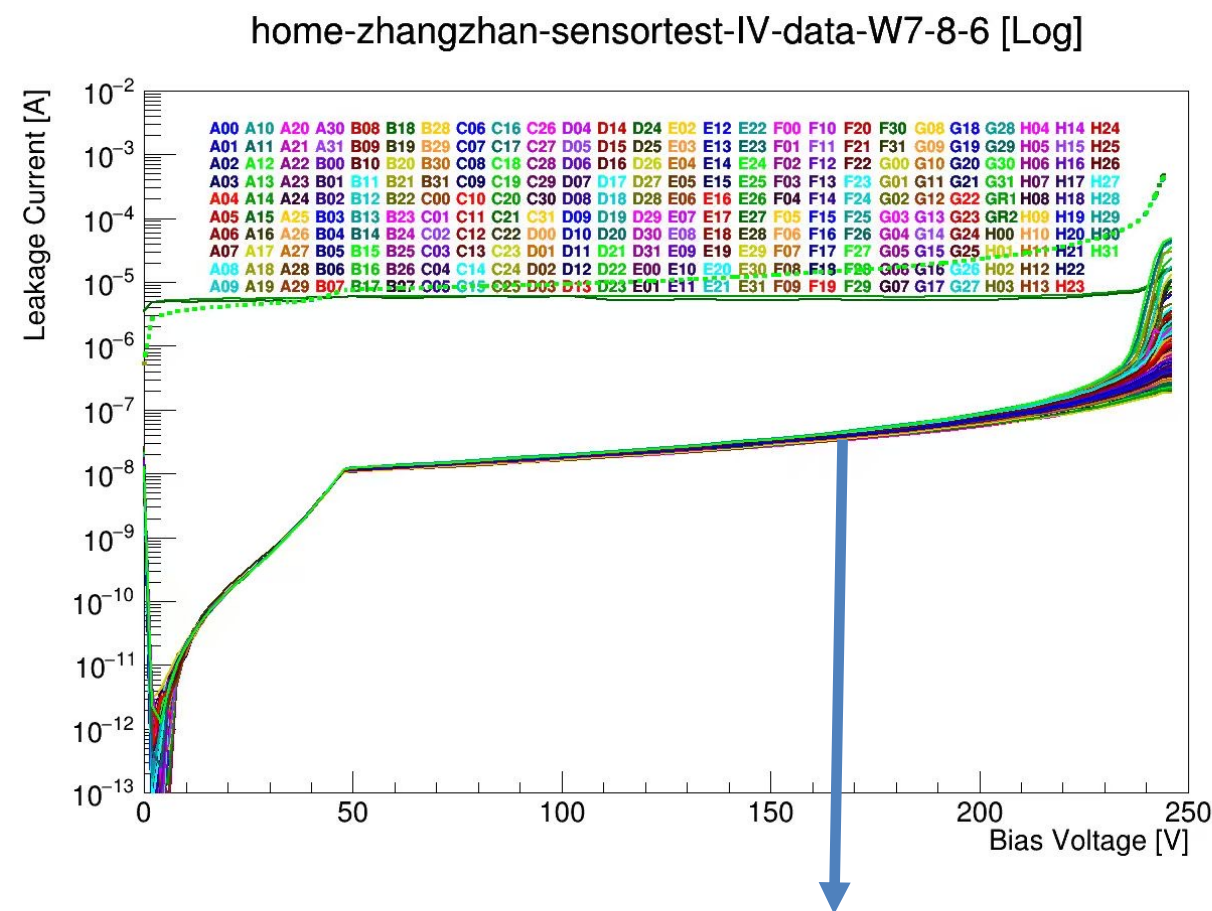


2x2 FBK LGAD芯片

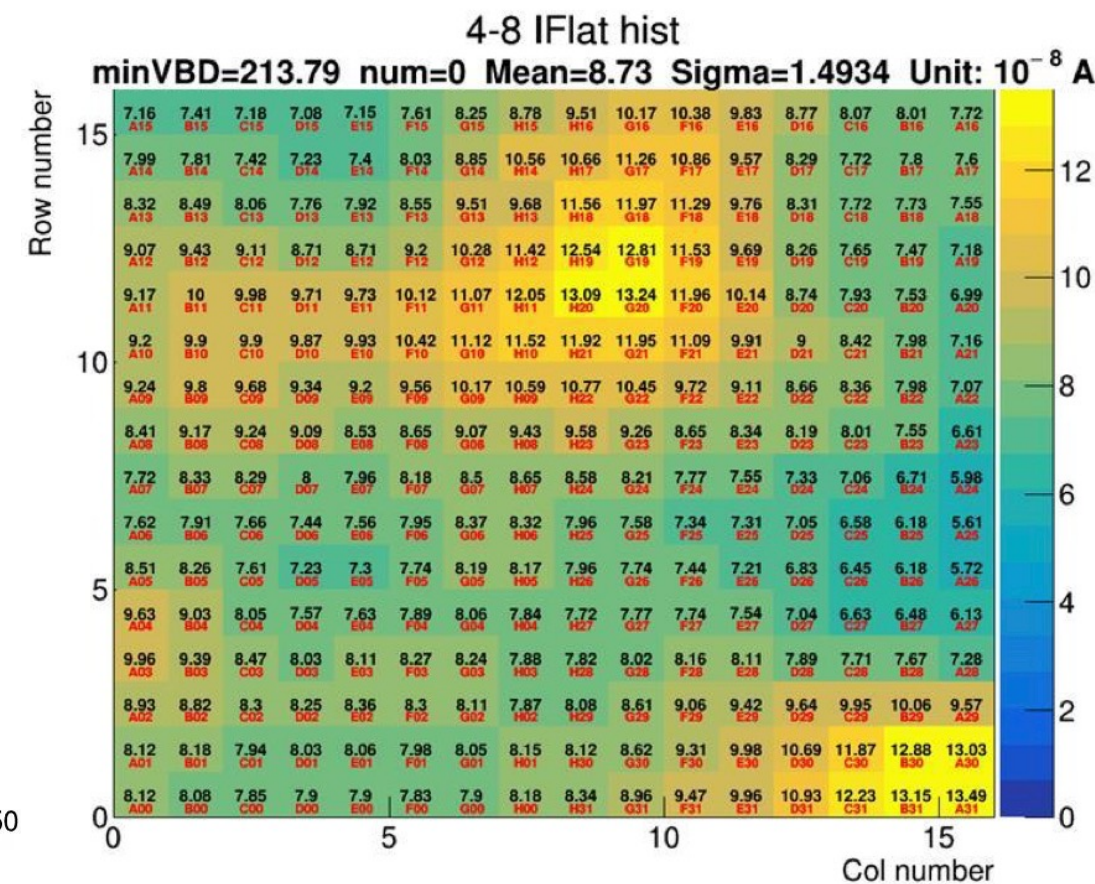


Probe station

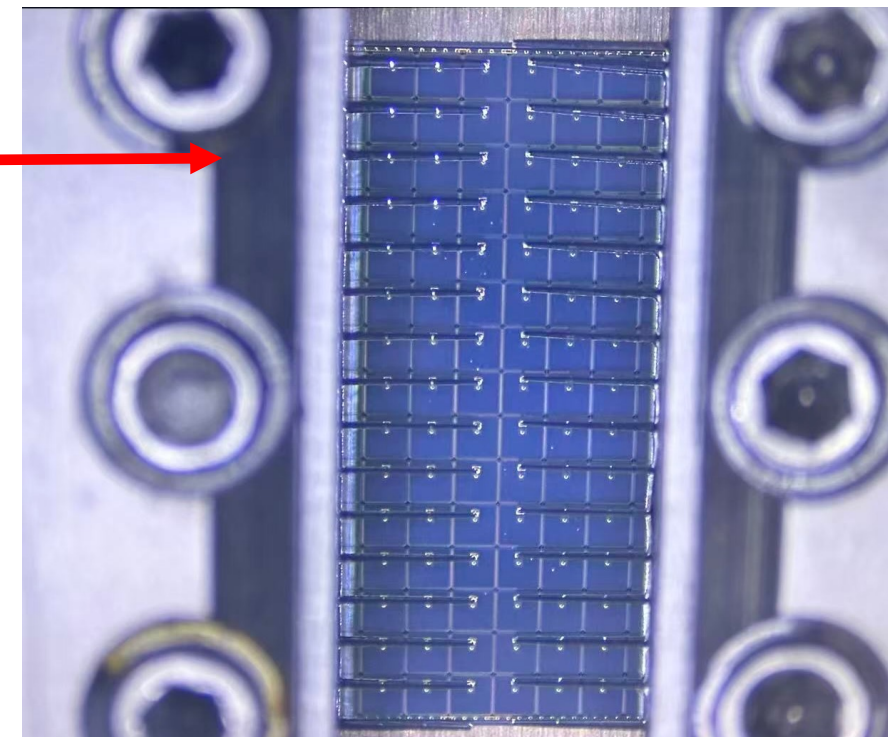
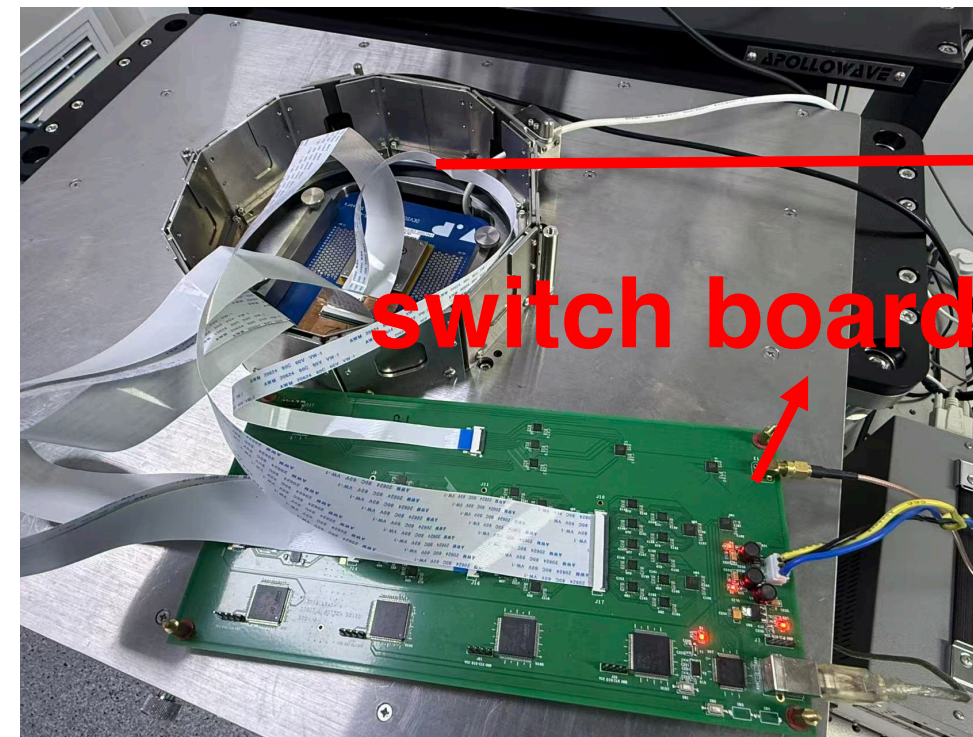
探针卡与LGAD芯片



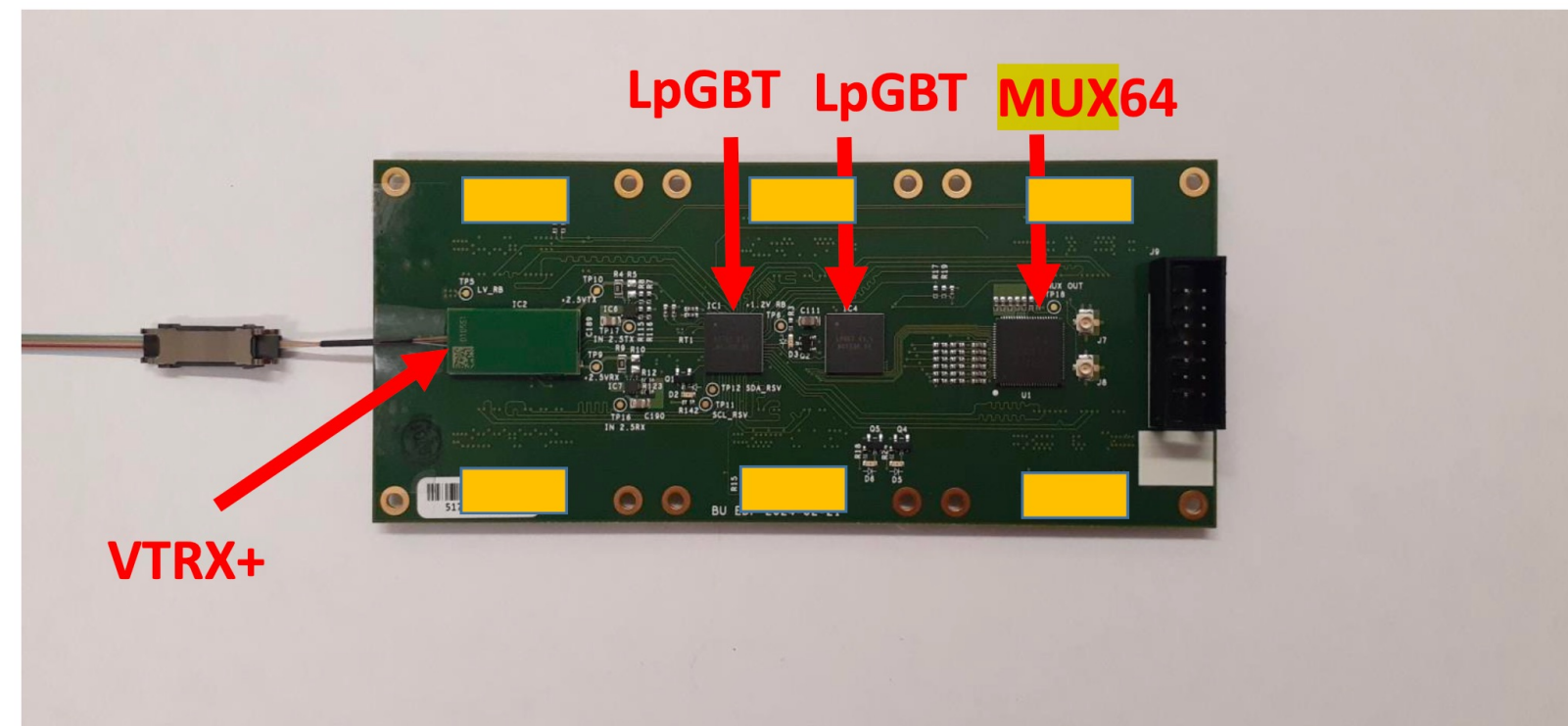
科大: 每一个256个通道的
电流-偏置电压关系 (IV)



漏电流测试结果符合CMS要求，在2025年FBK-LFoundry
sensors Procurement Readiness Review中展示



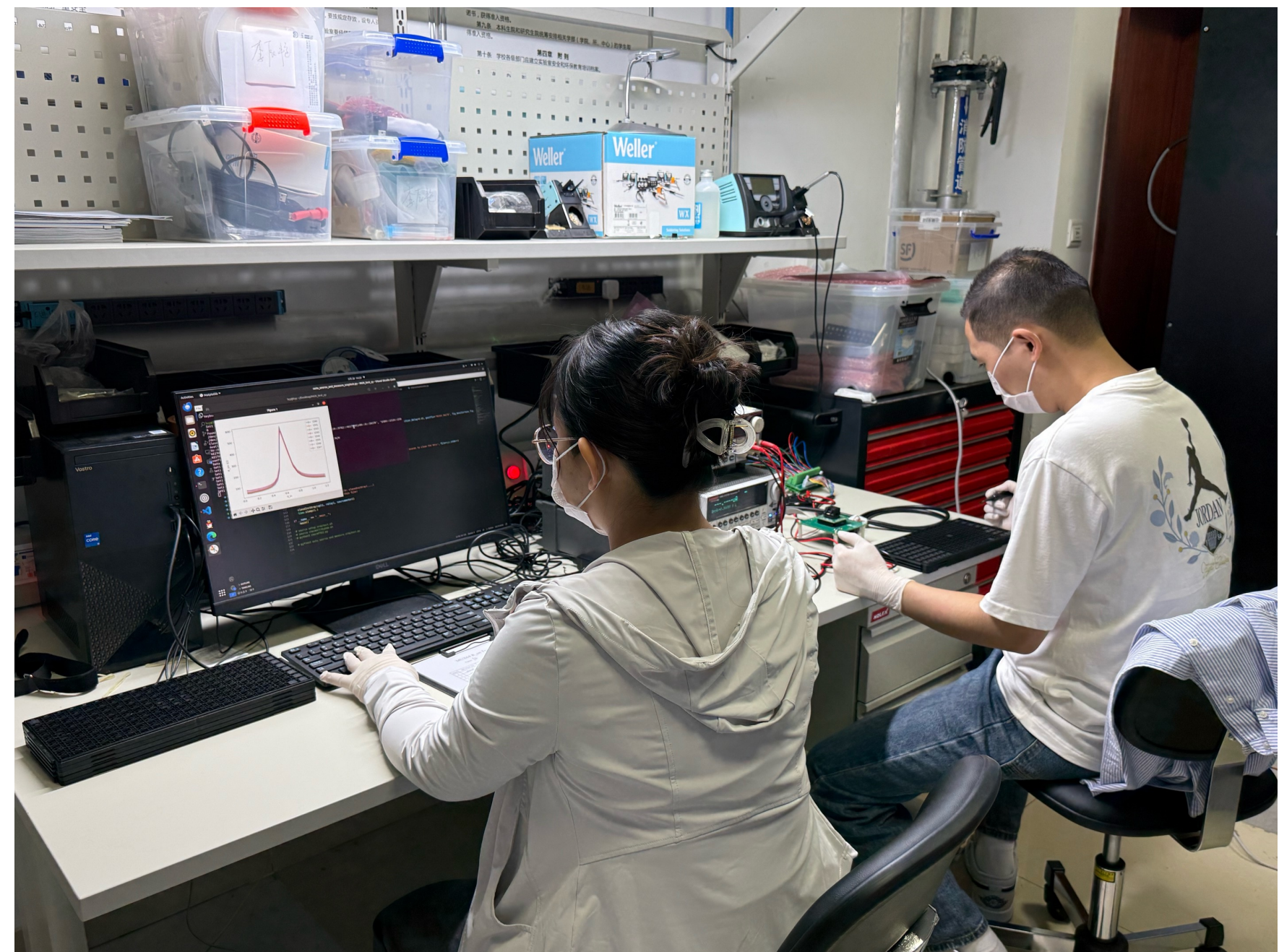
MUX64 芯片是ETL模块中负责读取监控信号的部件



华南师范大学采购MUX64 芯片
(ETL core contribution)



山东大学已经测试1200片MUX64芯片
(共2,000 片) , 良品率 > 94%



FUNDAMENTAL PHYSICS BREAKTHROUGH PRIZE



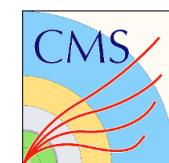
欧洲核子研究中心大型强子对撞机上的四个大型国际合作实验——ATLAS、CMS、ALICE和LHCb获颁基础物理突破奖2025 Breakthrough Prize in Fundamental Physics

“在大型强子对撞机上对希格斯粒子性质的详细测量研究确认了对称性破缺产生质量的机制、发现新的强相互作用粒子、研究稀有过程和物质-反物质不对称性、进行最小尺度及最极端条件下的自然探索”



Photos & Design by Michael.Hoch

2024 CMS Thesis Award 北京大学 李聪乔博士



The CMS Collaboration
presents
The CMS PhD Thesis Award
of the year 2024 to



Congqiao Li
Peking University

for outstanding research conducted in association with the
CMS experiment, described in the thesis titled:

“Modern deep learning for large-R jet tagging - algorithms,
calibration methods, and applications in the CMS experiment”

Sridhara Rao Dasu

CERN, October 2025

Sridhara Rao Dasu
Chairperson of the CMS Collaboration Board

2024 CMS Award 高能所 王锦

The Compact Muon Solenoid Collaboration

confers on

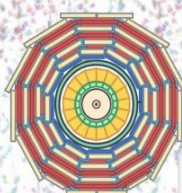
Jin Wang
Institute of High Energy Physics - China

CMS 2024 Award

For remarkable contributions to the ECAL calibrations and outstanding
leadership of the ECAL Detector Performance Group

The Collaboration Board Chairperson
(Elisabetta Gallo)

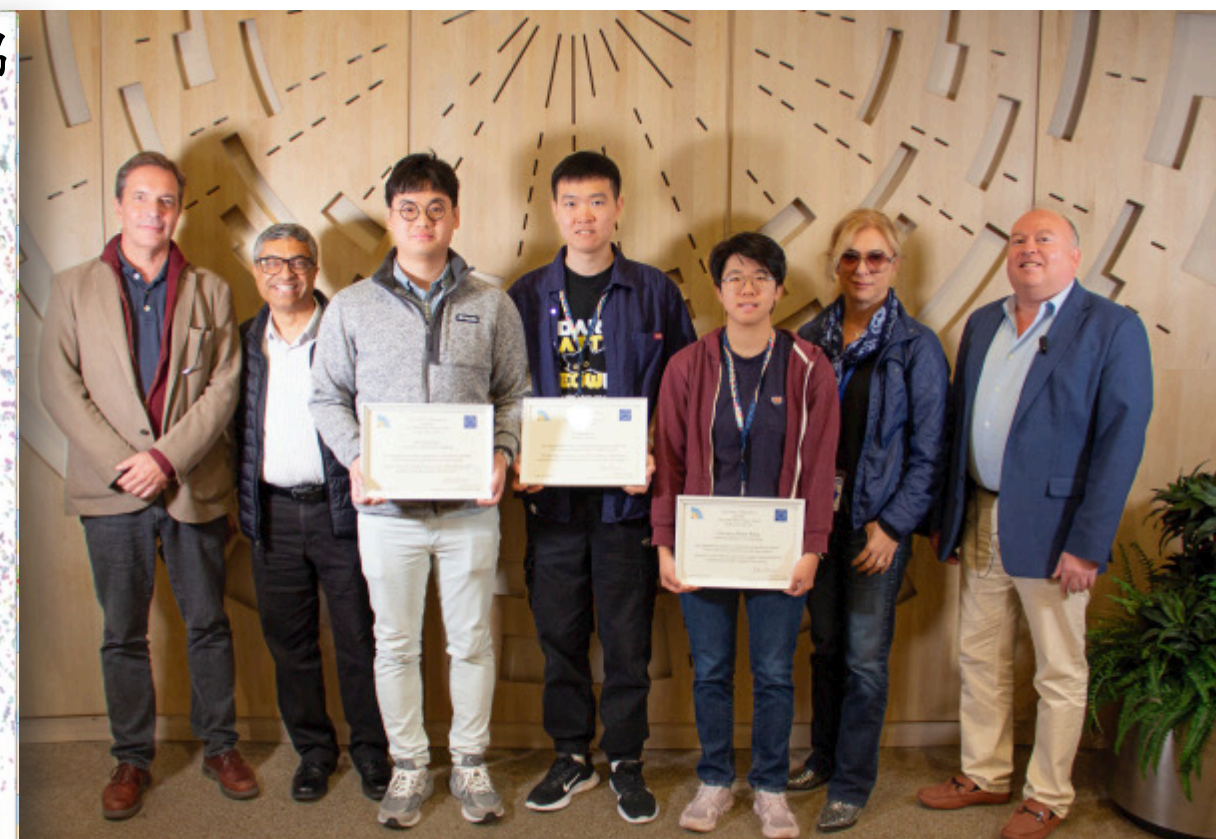
Elisabetta Gallo



June 11th, 2025

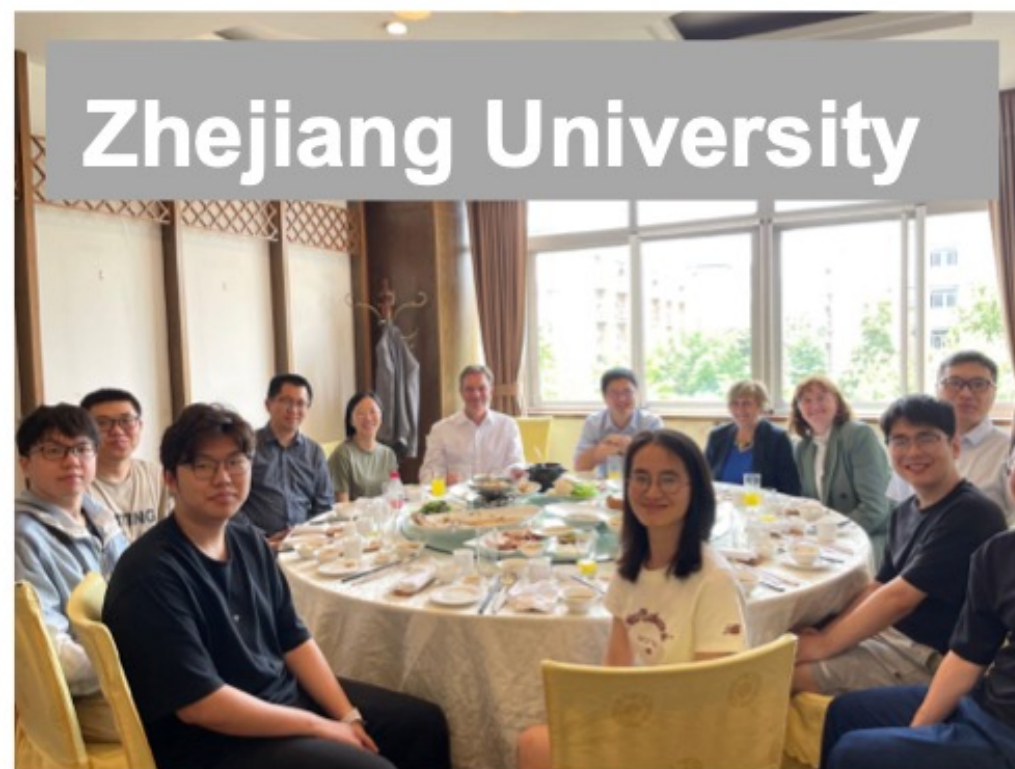
The Experiment Spokesperson
(Gautier Hamel de Monchenault)

Gautier Hamel de Monchenault



CMS发言人团队访问 2025年5月

CMS





分组（二级）	人员	管理级别
RPC 触发组 CMS Serenity指导委员会委员	刘振安（高能所）	二级
HIGGS	肖朦（浙大）	二级
ECAL Detector Performace Group（DPG）	王锦（高能所）	二级
Heavy-ion Trigger contact	陈震宇（山大）	二级
Physics Data And Monte Carlo Validation（PdmV）	钱思天（北大）	二级

CMS合作组二/三级负责人



分组（二级）	人员	管理级别	所属三级分组
HGCal	张华桥（高能所）	三级	MAC Beijing
HGCal	张华桥（高能所）	三级	硅模块底板组的共同协调人
RPC	赵京周（高能所）	三级	PRC电子学
MTD	Claudio Quaranta （北大）	三级	Calibration and Monitoring convener
Tau	孙小虎（北大）	三级	Tau Trigger
JME/BTV	李聪乔（北大）	三级	JetMET Algorithms and Reconstruction (JMAR)
Monte Carlo Generator Group	杨天一（北大）	三级	Generator validation
Physics Data And Monte Carlo Validation	刘锦枫（清华）	三级	DPG, POG, PAG Validation
	李伯林（南师）	三级	
	Tahir Javaid（北航）	三级	DQM online shift manager

分组（二级）	人员	管理级别	所属三级分组
Higgs物理	王锦（高能所）	三级	HH
Higgs物理	周辰（北大）	三级	Combination
Higgs物理	Alexandra Carvalho（北大）	三级	LHC Higgs Combination
LHC Higgs Working Group	袁丽（北航）	三级	WG1 offshell
B物理	王晰宁（清华）	三级	Production & Properties
B物理	胡震（清华）	三级	Production & Properties
重离子物理	陈震宇（山大）	三级	集体流分析
重离子物理	杨帅（华南师大）	三级	Dilepton PInG
重离子物理	叶早晨（华南师大）	三级	Forward PInG
新物理寻找NPS	陈晔（高能所）	三级	Interpretation, MC, trigger
新物理寻找B2G	Antonis Agapitos（北大）	三级	Interpretation
新物理寻找B2G	Alexandra Carvalho（北大）	三级	Interpretation



CMS Authorship Committee: 钱思进（北大）

Collaboration Board Advisory Committee: 李强（北大，23-25）

Spokesperson Advisory Committee: 陈明水（高能所，24 - ）

Conference Committee: 廖红波（高能所，21-），袁丽（北航，21-）

CMS School Committee: 李强（北大，23-25），查王妹（科大，25-）

OSA Regional Representative: 胡震（清华，25-），鲁楠（科大，24-25）

Collaboration Board Deputy Chairperson: 鲁楠（科大，25-）

- 近一年CMS中国组队伍继续壮大
- 在希格斯物理、新物理寻找、标准模型检验、新粒子寻找、重离子物理等方面都做出了很有特色的工作
- 硬件升级技术攻关进展顺利

感谢国家基金委、科技部、中科院和兄弟院校的长期稳定支持！

Backup slides

CMS中国组物理分析汇总 (2024.11-2025.10)



题目	Paper/PAS (发表/公开日期/状态)	贡献	单位
$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ mass and width (Run 2)	Phys. Rev. D 111, 092014 (2025年5月)	预审核、揭盲	高能所
$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ cross section (Run 3 2022)	JHEP05(2025)079 2025年5月)	技术性贡献	高能所
$H \rightarrow \gamma\gamma$ cross section (Run 3 2022)	JHEP 09 (2025) 070 (2025年8月)	高能所、北大：技术性贡献	高能所、北大
Single Higgs coupling combination (Run 2)	CMS-PAS-HIG-21-018 (2025年4月)	技术贡献	北大
H + HH combination (Run 2)	Phys. Lett. B 861 (2025) 139210 (2025年2月)	高能所：分析联系人、揭盲 北大：终审报告	北大、高能所
Non-resonant HH combination (Run 2)	arXiv:2510.07527 (2025年10月)	北大：终审报告 高能所、科大：技术性贡献	北大、高能所、科大
cH, $H \rightarrow \gamma\gamma$ (Run 2)	arXiv:2503.08797 (2025年3月)	北大：分析联系人 高能所：技术性贡献	北大、高能所
$H \rightarrow \gamma\gamma$ anomalous coupling (Run 2)	CMS-PAS-HIG-24-006 (2025年7月)	技术性贡献	高能所
Constraint on Higgs width with $H \rightarrow \gamma\gamma$ signal/background interference (Run 2)	CMS-PAS-HIG-25-004 (2025年8月)	技术性贡献	高能所
大横动量希格斯粒子衰变到两个 W 玻色子过程的寻找	CMS-PAS-HIG-24-008 (2025年5月)	分析联系人、预审核	北大
ttHH with $H \rightarrow \gamma\gamma + H \rightarrow bb/WW/\tau\tau$ (Run 2)	CMS-PAS-HIG-23-004 (2025年4月)	技术性贡献	高能所
$HHH \rightarrow 4b2\gamma$ (Run 2)	CMS-PAS-HIG-24-015 (2025年7月)	技术性贡献	北大、高能所
Nonresonant $HH \rightarrow bb\gamma\gamma$ (Run 3 22/23)	CMS-PAS-HIG-25-007 (2025年10月)	技术性贡献	科大、北大、高能所
Low mass Higgs $\rightarrow \gamma\gamma$ (Run 2)	Phys. Lett. B 860 (2025) 139067 (2025年1月)	分析联系人、揭盲和终审报告	高能所
Very low mass Higgs $\rightarrow \gamma\gamma$ (Run 2)	CMS-PAS-HIG-24-014 (2025年3月)	技术性贡献	高能所
Search for $HH \rightarrow \tau\tau\gamma\gamma$ (non-resonant, $X \rightarrow HH$, $X \rightarrow YH$) (Run 2)	arXiv:2506.23012 (2025年6月)	技术性贡献	高能所
$HHH \rightarrow 6b$ (Run 2)	CMS-PAS-HIG-24-012 (2025年10月)	预审核报告	北大
VBS WH (Run 2)	Phys. Letter. B 860(2025)139202 (2025年1月)	分析联系人、揭盲和终审报告	北大



题目	Paper/PAS (发表/公开日期/状态)	贡献	单位
Search for tt resonances in 0L + jets (incl. combination) (Run2)	CMS-PAS-B2G-24-003 (2025年4月)	技术性贡献	高能所
Search for tt+X(tt) (1L+jets) (Run2)	CMS-PAS-B2G-24-009 (2025年4月)	分析联系人、揭盲和终审报告	高能所
X→HH→WW $\gamma\gamma$ (Run2)	CMS-PAS-B2G-24-010 (2025年10月)	分析联系人、预审核和终审报告	高能所
MSSM/2HDM heavy Higgs boson to bb with full Run 2	JHEP06(2025)144 (2025年6月)	技术性贡献	高能所
Resonant HH/HY combination	Phys. Rept. 1115 (2025) 368-447 (2025年4月)	高能所：终审报告；科大：终审报告; 北大：预审核报告	高能所、北大、科大
衰变成胶子 g和两个 W 玻色子的高质量共振态的搜索	JHEP 02 (2025) 199 (2025年2月)	分析联系人、预审核和终审报告	北大
探寻重共振态衰变为希格斯或Z玻色子以及一个光子	CMS-PAS-B2G-24-007 (2025年5月)	分析联系人、预审核和终审报告	北大
希格斯玻色子奇异衰变	CMS-PAS-EXO-24-031 (2025年5月)	分析联系人、预审核和终审报告	北大



题目	Paper/PAS (发表/公开日期/状态)	贡献	单位
喷注内的胶子自旋效应 (Run 2)	CMS-PAS-SMP-25-006 (2025年9月)	浙大独立分析，分析联络人、作预审核和审核报告	浙江大学
WZ γ 观测	Phys. Rev. D 112 (2025) 012009	北大李强课题组在CMS中提出并领导该工作，分析负责人	北大、中山
B0 $\rightarrow$ K * (892) 0 $\mu^+\mu^-$ 味道改变中性流过程 (Run 2)	Phys.Lett.B864 (2025)139406 (2025年3月)	预审核报告	北大
双光子产生W玻色子对	CMS-PAS-SMP-24-019 (2025年7月)	分析联系人、预审核和终审报告	北大
全粲四夸克强子态的自旋宇称分析	Nature已接收	预审核报告	南师、清华、河南师范大学
全粲四夸克强子态家族的观测	CMS-PAS-BPH-24-003 (2025年4月)	分析联系人、预审核和终审报告	南师、复旦、清华、中山、上海理工大学、河南师范
X(6900) $\rightarrow \psi(2S)J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-\mu^+\mu^-$ 的观测	CMS-PAS-BPH-22-004 (2025年4月)	分析联系人、预审核和终审报告	南师、清华、高能所、浙大、河南师范
OO/NeNe碰撞集体流	提交到PRL (arXiv:2510.02580) (2025年10月)	分析联系人、预审核和终审报告	山大、复旦
利用非相干光致产生J/ ψ 研究原子核内胶子涨落	Phys. Rev. Lett. 135 (2025) 112301 编辑推荐 (2025年9月)	分析联系人、预审核和终审报告	华南师大
首次观测到相干光致产生 ϕ 介子	提交到PRL (arXiv:2504.05193) (2025年4月)	终审报告	华南师大
小系统超子极化	Phys. Rev. Lett. 135 (2025) 132301 (2025年9月)	山东大学独立分析，分析联络人、作预审核和审核报告	山大